



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R88:1988**

## **Radon i bostäder**

**Provning och utvärdering av byggnads-  
och installationstekniska åtgärder**

**Sven-Olof Ericson  
Ingemar Nilsson  
Hannes Schmied**

**Byggforskningsrådet**

R88:1988

RADON I BOSTÄDER

Provning och utvärdering av byggnads-  
och installationstekniska åtgärder

Sven-Olof Ericson  
Ingemar Nilsson  
Hannes Schmied

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831533-5,  
840790-4, 840854-4 och 841221-2 från Statens råd för  
byggnadsforskning till AIB Anläggningsteknik AB, Solna,  
och Statens Provningsanstalt, Borås.

## REFERAT

Denna rapport är en samredovisning av skilda projekt från AIB Anläggningsteknik AB, Solna och Statens Provningsanstalt, Borås gällande åtgärder mot radon. En sammanställning av radonets källor och transportvägar har genomförts genom att sammanfatta tidigare och nu erhållna resultat. Härvid har hänsyn tagits till inverkan av yttre faktorer på radonavgivningen från byggnadsmaterial samt radonets transportvägar i såväl mark som hus. Inom projektet har olika åtgärder i befintliga och nyproducerade hus för att sänka radonhalten provats och utvärderats. Som exempel kan nämnas tätning, över- och undertrycksventilering av det kapillärbrytande lagret under bottenplattan och ökad ventilation. Mätning av radon/radondotterhalten har utförts före och efter åtgärd i befintliga hus och efter uppförandet i ny hus. Husen ingående i denna undersökning har i huvudsak varit hus med höga radondotterhalter eller som legat på radonfarlig mark. Åtgärdernas beständighet har 1 - 5 år efter utförande kontrollerats med omfattande film- och kontinuerliga mätningar av radon/radondotterhalten. Beständigheten var i stort god.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R88:1988

ISBN 91-540-4943-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1988



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

i	FÖRORD	
ii	SAMMANFATTNING	6
1	BAKGRUND	8
1.1	Bakgrund till AIB's projekt	8
1.2	Bakgrund till SP's projekt	10
2	RADON	12
2.1	Radon från byggnadsmaterial	13
2.1.1	Definition	15
2.1.2	Teori allmänt	16
2.1.3	Fukttinnehållets inverkan på exhalationen	17
2.1.4	Ytskiktets inverkan på exhalationen	23
2.1.5	Tryckgradientens inverkan på exhalationen	26
2.1.6	Temperaturgradientens inverkan på exhalationen	26
2.1.7	Gränsvärde	26
2.1.8	Exhalation från väggar, kuber och ballastprover	26
2.2	Radon från marken	30
2.2.1	Produktion av radon	30
2.2.2	Inläckning av markradon	32
2.2.3	Inverkan av husens läge på en grusås	33
2.3	Radon- och radondotterhalts variationer i tiden	35
2.4	Besiktningmetodik och instrumentering	42
2.4.1	AIB's Besiktningmetodik och instrumentering	42
2.4.2	SP's besiktningsmetodik och instrumentering vid kartläggning av markradon i hus	45

3	TYPER AV BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER I BEFINTLIGA SMÅHUS MED MARKRADON	48
3.1	Tätning	49
3.2	Undertrycksventilering av kapillärbrytande lager - golvsug	57
3.2.1	Teori för strömmning i mark	57
3.2.1.1	Darcy's lag	57
3.2.1.2	Strömningsmodeller	58
3.2.2	Golvsugens konstruktion	63
3.3	Övertryck under betongplatta	67
3.4	Ventilering av krypgrund och varmgrund	71
3.5	Ventilering av uppreglat golv	76
3.6	Ökad luftomsättning	78
3.6.1	Sjävdrag	78
3.6.2	Mekanisk ventilation	80
3.6.3	Kostnad nytta av ökad luftomsättnig	81
3.7	Filtrering av luft	85
4	TYPER AV BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER I NYPRODUKTION AV SMÅHUS PÅ HÖGRISKMARK	86
4.1	Täta begränsningsskikt	87
4.2	Ventilerade kryprum	94

5	SAMMANSTÄLLNING AV AIB's MÄTRESULTAT	99
5.1	Kontrollmätning med film i kopp	99
5.1.1	Nybyggda hus	101
5.1.2	Befintliga hus	103
5.2	Mätvecka i fält jan 85	110
6	SAMMANSTÄLLNING AV SP's MÄTRESULTAT	150
6.1	Kommentarer för respektive hus	153
6.2	Husägarnas kommentarer	159
7	ERFARENHETER FRÅN ANDRA KONSULTER	160
7.1	SGI - Statens Geologiska Institut, Lidköping	160
7.2	SGAB - Sveriges Geologiska AB, Luleå	163
7.3	Tyréns Företagsgrupp AB, Sunbyberg	178
7.4	Bjerkings Ingenjörbyrå AB, Uppsala	179
8	REFERENSER	181

# FAKTARUTA OM RADON

Ämne	Strålningstyp	Halveringstid
Uran-238	Gamma, alfa	4,5 x 10 <sup>9</sup> år
↓		
Radium-226 (Rn)	Gamma, alfa	1620 år
↓		
Radon-222 (Rn)	Alfa, gamma	3,82 dygn
↓		
R    RaA	Alfa	3,05 minuter
A    Polonium-218		
D		
O    RaB	Beta, gamma	26,8 minuter
N    Bly-214		
D		
Ö    RaC	Beta, gamma	19,7 minuter
T    Vismut-214		
T		
R    RaC'	Alfa	1,6 x 10 <sup>-4</sup> sek
A    Polonium-214		
R		
Fortsatt sönderfall		>20 år
↓		
Bly-206 (Pb)	Stabilt (ej radioaktivt)	

Alfastrålning når endast några centimeter i luft och några hundraedels millimeter i kroppsvävnad.

Gammastrålning har i allmänhet lång räckvidd och kan nå hundratals meter i luft eller omkring en halv meter i sten eller betong.

Båda strålningstyperna är joniserande strålning. När joniserande strålning träffar kroppens vävnader avger den energi.

Absorberad dos (stråldos) är den mängd energi som mottas per kilogram kroppsvävnad.

## FÖRORD

Denna rapport är en samredovisning av skilda projekt från AIB Anläggningsteknik AB, Solna och Statens Provningsanstalt, Borås gällande åtgärder mot radon. Projekten har bekostats med medel från Statens råd för byggnadsforskning.

Med rapporten vill vi belysa de möjligheter som finns idag för att åtgärda hus med markradon. Vi har även försökt att peka både på för- och nackdelar för att läsaren själv skall kunna skaffa sig en bild av de olika metoderna.

Vi vill samtidigt tacka andra forskare för de erfarenheter som de delgivit oss och som vi redovisar i denna rapport.

Ingemar Nilsson  
Statens Provningsanstalt

Hannes Schmied  
AIB Anläggningsteknik AB

Sven-Olov Ericson  
Radonkonsult HB



## SAMMANFATTNING

Inom projektets ram har olika åtgärder för att sänka radonhalten utvärderats. Som exempel kan nämnas tätning, över- och undertrycksventilering av det kapillärbrytande lagret under bottenplattan och ökad ventilation i bostaden. För nyproducerade hus redovisas förebyggande åtgärder.

En sammanställning av radonets källor och transportvägar har genomförts genom att sammanfatta tidigare och nu erhållna resultat. Härvid med hänsyn till inverkan av yttre faktorer på radonavgivningen från byggnadsmaterial samt radonets transportvägar i mark och hus. De yttre faktorer som undersökts är fukt-, tryck- och temperaturgradienter samt för radon från marken även husens topografiska placering.

I de hus som ingår i denna undersökning har mätningar av radon/radondotterhalten utförts före och efter åtgärd i befintliga hus och efter uppförandet i nya hus. De allra flesta av de befintliga husen har haft mycket höga radondotterhalter före åtgärd.

För att undersöka åtgärdernas beständighet har inom AIB's projektdel en filmmätning genomförts i 150 fastigheter (85 nya och 65 befintliga) 1-3 år efter åtgärd. Resultatet av filmmätningen visar inga större skillnader på nivåerna mellan mätningarna, 80 Bq/m<sup>3</sup> för nybyggda hus och 200 Bq/m<sup>3</sup> i befintliga hus. Det förväntades större skillnader i radondotterhalt mellan olika typer av förebyggande åtgärder i nybyggda hus. Troligen har medvetenheten om radonproblemet medfört att större hänsyn tagits vid utförandet, och att de förebyggande åtgärderna ännu inte trätt i funktion.

För de befintliga husen har det verifierats att radondotterhaltens sänkning från i medeltal 1750 Bq/m<sup>3</sup> till 200 Bq/m<sup>3</sup> varit bestående. I referenshusen har halten sjunkit något mellan mätningarna (910 Bq/m<sup>3</sup> till 830 Bq/m<sup>3</sup>).

Inom AIB's projektdel har olika åtgärder initierats och följts upp. Noggrannare uppföljning av några så kallade golvsugsinstallationer har genomförts. Dessa installationer har utförts på likartat sätt. Teoretiska beräkningar och åtgärdens effektivitet har verifierats genom mätning av radon- och radondotterhalt och tryckförhållanden. Dessutom har tre ventilationsanläggningar med FTX-system undersökts med hänsyn till funktion, flöden och energikonsumtion. För dessa installationer är funktionen i hög grad beroende av deras skötsel.

Inom SP's projektdel har mätningar utförts i hus åtgärdade på olika sätt för att hindra radon från att komma in i bostaden. Mätningar har gjorts på luftomsättning, radon- och radondotterhalt, tryckförhållanden m m. vilket givit underlag för bedömning av åtgärdens effekt, beständighet samt om åtgärden kan orsaka andra problem som t ex fukt och mögel i byggnadskonstruktionen. Resultatet visar att utförda åtgärder ännu 3-5 år efter utförandet har en bestående effekt på minskningen av radondotterhalten förutom i ett fall (ett hus som tapetserats med täta tapeter).

Rapporten redovisar även synpunkter och erfarenheter från andra forskare inom radonområdet.

# 1 BAKGRUND

## 1.1 Bakgrund till AIB's projekt

AIB medverkade under slutet av 1970-talet i ett projekt med syftet att sänka radonhalten i de första hus som påträffats med mycket höga radonhalter, de på den tiden mycket omskrivna husen i Ekedalen, Tidaholm. Detta genomfördes i samarbete med Bjerking's Ingenjörbyrå, Statens Strålskyddsinstitut och Statens Institut för Byggnadsforskning. Inom projektet studerades även problemställningen med radonavgång från skifferbaserad lättbetong. Mekanisk till- och frånluftventilation installerades i två villor och i ett radhus och en friliggande villa studerades möjligheterna att begränsa avgången av radon genom att klä alla ytor med porfri laminerad aluminiumfolie. Resultatet av detta projekt presenterades 1982 i rapporten "Radon i bostäder - Byggnadstekniska åtgärder för att minska radonhalten i inomhusluft" /Clavensjö 82/. Resultatet visade att det i samtliga fall var möjligt att sänka radonhalten till acceptabla nivåer. Enbart mekanisk ventilation visade sig redan i detta projekt vara en mindre lyckad metod mot mycket kraftigt inflöde av markradon. De metoder som prövades var dock mycket kostsamma, särskilt de metoder som användes för att stoppa inflöde av radon från omkringliggande fyllning av skifferaska - utbyte av askan mot normal fyllning ut till ett avstånd av tre meter från grundmuren. Kostnaderna för detta var ca 25% av dåtida kostnad för att bygga ett motsvarande nytt hus. Det stod också klart att detta inte är en möjlig väg för hus där källan till radonet är den naturliga marken även under grundläggningsdjup.

I samband härmed uppdrog Byggnadsnämnden åt AIB att inleda arbete med utprovning och beskrivning av enkla metoder som till låg kostnad kunde stoppa inflöde av markradon i existerande byggnadsbestånd och enkla modifieringar av konventionella konstruktioner som förhindrar inflöde av markradon. Arbetet kunde baseras på vissa uppgifter som framkommit vid litteraturgenomgång under 1979 och 1980 /Ericson 81/. Speciellt erfarenheter från Canada av nyutvecklade åtgärder mot inflöde av markradon i existerande hus och principer för modifiering av grundläggningen vid nybyggnad studerades vid en studieresa 1980. Motsvarande arbeten i USA avseende radon från uranindustrins avfall utnyttjat som byggnads- och fyllnadsmaterial studerades vid en studieresa 1981 /Ericson 81/. Dessa erfarenheter var till stor hjälp i arbetets inledning och bidrog till att ge en förståelse av mekanismerna för inflöde av markradon, dvs att radon kommer in till helt övervägande del med ett konvektivt flöde av markluft och inte genom diffusion.

Konkreta åtgärder i hus inleddes i Varnhem, Skara kommun, genom att de amerikanska metoderna att suga luft under källargolvet provades i två hus. Detta skedde delvis med ekonomiskt stöd av Radonutredningen.

Arbetet har därefter till stor del bestått i att i samarbete med berörda kommuner, främst Skara, Skövde och Sollentuna, genom rådgivning initiera åtgärder i befintliga hus. Dessa hus har i allmänhet valts ut av kommunerna och haft extremt höga radonhalter. Mot-svarande arbete med nyproduktion har bestått i råd-givning om lämpliga modifieringar av grundläggningen och uppföljning av resultaten.

Totalt har närmare 200 hus studerats och följts upp till 5 år efter färdigställande eller genomförande av första åtgärd. I en del hus med mycket höga radonhalter har den första enkla åtgärden inte varit tillräcklig varefter komplettering med mer kostsam(ma) metod(er) genomförts etappvis efter utvärdering.

Inom projektet har vi även samarbetat med Statens Geotekniska Institut, Institutionen för Byggnadsteknik vid Tekniska Högskolan i Stockholm och med AB Ytong. I Linköping har vi tillsammans med SGI och Institutionen för Byggnadsteknik och med hjälp från kommunen följt en grupp hus som byggdes med viss modifiering på vad som då betraktades som radonfarlig mark. En del mätningar i dessa hus bekostade med medel från AIB's projekt har redovisats i en rapport från KTH avseende aluminium-folie som tätskikt på betongplattor /Levin 82/. Medel från projektet har även tillsammans med Statens Geotekniska Institut och Statens Provningsanstalt del-finansierat ett experiment i en villa i Borensberg med kombinerad ventilation av uppreglat övergolv och mekanisk till- och frånluftventilation med värmeåter-vinning. Tillsammans med AB Ytong har projektet bekostat mätningar i två grupper av nya hus med sk varmgrund uppförda på radonfarlig mark i Skövde och Örebro /Lundin 82/.

Denna rapport utgör sammanfattande slutrapport för BFR anslag nummer 831533-5 och 840854-4

När de första signalerna kom att det fanns hus med höga radondotterhalter fick SP i uppdrag att snabbt ta fram mätmetoder för att spåra dessa bostäder. I februari 1980 gavs en skrift ut med titeln "Information om kontroll av radondotterhalter i hus". Skriften gav upplysningar om vilka kända mätmetoder som fanns att tillgå.

SP bestämde sig för att använda en alfakänslig spår-film för att spåra hus med höga radondotterhalter. Filmerna kom från och utvärderades i USA varför SP endast fungerade som administratör. Senare tog SP fram en metod där radon adsorberar på aktivt kol. Denna metod ersatte filmerna inför mätsäsongen 1983-1984 och har sedan dess använts för spårning av bostäder med höga radondotterhalter. Utöver filmerna hade också SP tillsammans med Radiofysiska Institutionen i Lund anpassat den sedan långt tidigare kända filtermetoden enligt Kusnetz till fältbruk. Detta arbete finns redovisat i en rapport från början av 1980 med titeln "Radonkoncentrationer i byggnader". Detta är också en slutredovisning från SP av Nord-testprojektet 140-78, "Radonkoncentration i byggnader".

I september 1981 redovisade SP i en rapport resultaten av radonmätningar i de första 5600 bostäderna. Resultaten visade att andelen bostäder med mycket höga halter ( $>1000 \text{ Bq/m}^3$ ) var större än vad som kunde antas då mätningarna startade. I september 1981 redovisades också Boråsprojektet, ett delvis finansierat projekt av radonutredningen. Även vid dessa mätningar, ca 600 bostäder, var andelen bostäder med hög radonhalt större än förväntat.

De höga radondotterhalterna orsakades av radon från marken ofta i kombination med radon från byggnadsmaterial. Dessa bostäder behövde åtgärdas och SP startade ett projekt där hus åtgärdades på olika sätt. Syftet var att erhålla så många alternativ som möjligt. Resultaten redovisades 1982 i rapporten "Radonhus, exempel på åtgärder". I några av husen har mätningarna finansierats av radonutredningen. I ett hus har vi samarbetet med Statens Geotekniska Institut i Linköping (SGI). De erfarenheter som vi fått från hus med höga radondotterhalter har lett fram till en mätmetodik där vi spårar radonläckagen från marken. De hus vi oftast kommer i kontakt med har ofta mycket höga radondotterhalter eller när en åtgärd av någon anledning inte sänker radondotterhalten tillräckligt.



För att åtgärden skall kunna anses lyckad krävs att den fungerar inte bara strax efter det att åtgärden utförts utan även för åtskilliga år framåt. De åtgärdade husen som vi redovisade i rapporten "Radonhus, exempel på åtgärder" har nu följts upp några år efter åtgärden.

Denna rapport är slutrapport för BFR-anslag nummer 84-1310.

Radon-222 är en radioaktiv ädelgas och grundämne som ingår i uranets sönderfallskedja. Radon bildas när radium sönderfaller. Eftersom radon är gasformigt tränger det till skillnad från övriga ämnen i sönderfallskedjan delvis ut från material som innehåller radium.

När radon sönderfaller bildas radondöttrar. Till skillnad från radon som är gasformigt utgör radondöttrar fasta partiklar som ofta fastnar på damm.

## 2.1 Radon från byggmaterial

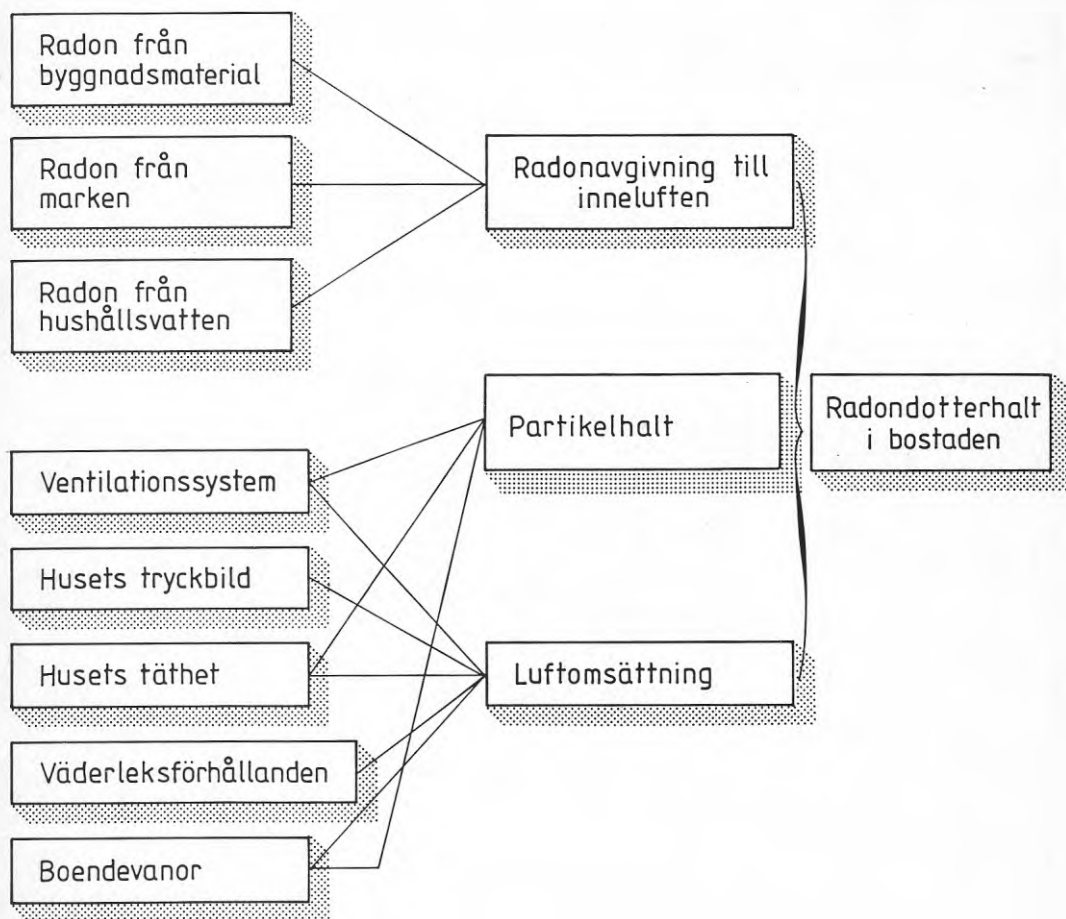
Radonavgången från byggnadsmaterial ger ett i stort sett konstant tillflöde av radon till rumsluften. De variationer som förekommer i tiden av radonavgången torde kunna hänföras till variationer i byggnadsmaterialens fukthalt, förändringar i lufttryck samt ändringar i olika ytskiktets täthet. Dessa förändringar ger i allmänhet endast en obetydlig effekt på radonavgången.

För en konstant källterm gäller att dess bidrag till radonhalten i inomhusluften är direkt proportionell mot luftens uppehållstid inomhus, och därmed omvänt proportionell mot luftomsättningen.

Radonavgången från vanliga byggnadsmaterial i Sverige har studerats vid Statens provningsanstalt. Resultatet av detta arbete utnyttjades av Radonutredningen som bedömde att representativ radonavgång från skifferbaserad lättbetong och betong grovt sett är proportionell med materialets innehåll av radium. För skifferbaserad lättbetong som har hög radiumhalt, 2500 Bq/kg, kan radonavgivningen vara 200 Bq/m<sup>2</sup>,h. För skifferbaserad lättbetong med genomsnittlig radiumhalt kan radonavgången uppskattas till ca 100 Bq/m<sup>2</sup>,h. Radiuminnehållet i betong är i medeltal ca 50 Bq/kg, men kan variera mellan 10 och 200 Bq/kg. Radonavgången kan i allmänhet anses vara ca 10 Bq/m<sup>2</sup>,h, med variationsbredd från 4 till 40 Bq/m<sup>2</sup>,h. Skifferbaserad lättbetong med ovanligt låg radiumhalt kan ha en radonavgivning som inte väsentligt överstiger den från vanlig betong med ovanligt högt innehåll av radium. Från prover av tegel, lättklinker, sandbaserad lättbetong och naturgips har radonavgång mellan 0,1 och 1,0 Bq/m<sup>2</sup>,h uppmätts. Radonavgång från trä är ännu mycket mindre.

I figur 2.1, som hämtats ur Radonutredningens slutrapport, framgår det hur stort bidrag som byggnadsmaterial kan ge till radonhalten i inomhusluften vid olika luftomsättningar. Figuren förutsätter att radon avges från 1,8 m<sup>2</sup> byggnadsmaterial per m<sup>3</sup> byggnadsvolym. Detta motsvarar samtliga ytor, golv, väggar och tak, i t ex ett rum med måtten 3 · 4 · 2,5 m med 4 m<sup>2</sup> fönster och dörrar. Som framgår av figuren är det endast skifferbaserad lättbetong som vid praktiskt förekommande luftomsättningar kan ge mer än ca 400 Bq/m<sup>3</sup> radon. Vid 0,5 luftomsättning ger dagens byggnadsmaterial sällan mer än 50 Bq/m<sup>3</sup> bidrag till koncentrationen av radon.

Fortsättningen av detta avsnitt om radon från byggnadsmaterial är referat och utdrag från Statens provningsanstalts och Radiofysiska institutionen i Lunds rapport, Radonexhalation från byggnadsmaterial. Författare till rapporten är Håkan Pettersson, Olov Hildingsson, Christer Samuelsson och Robert Hedvall. Rapporten har finansierats av Statens råd för byggeforskning (BFR).



Figur 2.1 Bidrag till radonhalten inomhus från byggnadsmaterialens radonavgivning, enligt Radonutredningen /SOU 1983:6/.

### 2.1.1 Definition

#### Halveringstid

$T_{1/2}$ , är den tid som krävs för att en given aktivitet skall reduceras till hälften genom sönderfall.

#### Sönderfalls-konstant

$\lambda$ , är en proportionalitetskonstant som relaterar förändringen i antalet kärnor per tidsenhet ( $\frac{dN}{dt}$ ) till antalet närvarande kärnor ( $N$ ).

$$\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N, \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \text{ s}^{-1}$$

#### Aktivitet

$A$ , är för en given tidpunkt antal sönderfallande kärnor per tidsenhet:

$$A = \lambda \cdot N \quad |\text{Bq}|$$

1 Bq = 1 sönderfall per sekund

1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  sönderfall per sekund =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq = 37 GBq

1 Bq radon-222 =  $4,8 \cdot 10^5$  atomer

1 Bq radium-226 =  $7,3 \cdot 10^{10}$  atomer

#### Exhalation

$E$ , anger den mängd radonaktivitet som frigörs per tidsenhet och ytenhet eller per tidsenhet och massenhet från materialet.

$$|\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}|, |\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}|, |\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}|$$

#### Emanationsfaktorn

$\eta$ , andelen av i materialet producerade radonatomer som når materialets porvolym.

#### Exhalationsfaktorn

$\gamma$ , kvoten mellan från materialet exhalerande radon  $|\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}|$  och i materialet producerat radon  $|\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}|$ .

#### Diffusions-konstanten

$D_e$ , är den effektiva transportkoefficienten för diffusionstransport och är den proportionalitetskonstant i Fick's lag som relaterar exhalationen genom ett poröst material till koncentrationsgradienten  $|\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}|$ .



Porositet

$\epsilon$ , är den karaktäristiska storheten för ett pormaterial, vilken ges av kvoten mellan totala porvolymen i materialet och materialets totala volym.

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_{\text{skrym}}}{\rho_{\text{kompakt}}}$$

$\rho_{\text{skrym}}$  = materialets skrymdensitet

$\rho_{\text{kompakt}}$  = materialets kompaktdensitet

Diffusionslängd

$L$ , en transportsträcka som karakteriserar diffusion av atomer som undergår radioaktivt sönderfall  $|m|$ .

Fuktkvot

$u$ , förhållandet mellan mängd vatten,  $m_v$   $|kg|$ , och det torra materialets massa,  $m_o$   $|kg|$ .

$$u = m_v/m_o$$

Radiumindex

$m_{\text{Ra}}$ , mått på materials radiuminnehåll,  $C_{\text{Ra}}$ .

$$m_{\text{Ra}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{200}$$

$C_{\text{Ra}}$  uttrycks i  $|Bq\ kg^{-1}|$  av materialet, medan radiumindex är dimensionslös.

2.1.2 Teori allmänt

Frigörandet av radon från ett poröst material till dess omgivande luft, är en tvåstegsprocess. Först sker frigörandet från den inre kornstrukturen i vilken radonatomerna produceras och därefter sker transporten företrädesvis genom porsystemet. Andelen radonatomer som flyr kornstrukturen och når porsystemet och därigenom är tillgängliga för exhalation, benämns emanationsfaktorn,  $\eta$ .

Transporten av radon i porerna orsakas av lufttrycksgradient och koncentrationsgradient (diffusion) och eventuellt med vattnets kapillärtransport. Diffusionsteorin beskrivs och diskuteras i senare avsnitt.

### 2.1.3 Fuktinnehållets inverkan på exhalationen

Fukthaltens inverkan på radonexhalationen i porösa material har diskuterats och framhållits i ett flertal arbeten (Tanner A.E. 64 och 78 samt Strong K.P. 81). Den senare har även experimentellt visat ett klart samband mellan radonexhalation och fukthalt för slaggprodukter från uranbrytning. Dock saknas undersökningar av byggnadsmaterial.

På vilket sätt fukten förändrar exhalationen är ej helt klarlagt. En förutsättning är en förändring av diffusionskonstant och/eller emanationsfaktor. När en radonatom skapas genom sönderfall av radium-226, erhåller den en rekylenergi. Sannolikheten att denna atom vid rekyl skall nå porsystemet är beroende av var i materialet sönderfallet sker och av porstrukturens utseende. Tanner diskuterar detta och föreslår att om porerna innehåller fritt vatten i kombination med luft, kommer radonatomerna mer effektivt att absorberas i vatten och sedan frigöras till porluften. Detta har sin orsak i den mycket kortare räckvidden i vatten, ungefär 1000 ggr mindre än i luft. Om porerna är helt vattenfyllda är det möjligt för radonatomerna att diffundera i vätskefas, men med en betydligt lägre hastighet. Således kan man vid en förhöjd fukthalt förvänta sig en reducerad diffusion men en förhöjd emanation. En nettoförändring i dessa parametrar medför en förändrad exhalation.

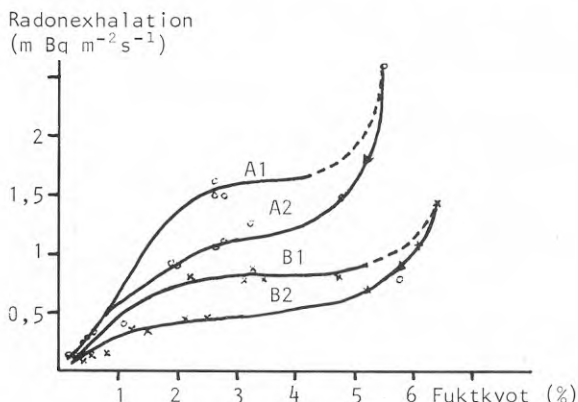
Fuktens fördelning i ett poröst material är av stort intresse och framför allt var i materialet fuktförändringen sker vid torkning eller uppfuktning.

För betong är det brukligt att klassa vattnet i cementpastan som förångbart (fysikaliskt bundet) och icke förångbart (kemiskt bundet). Det förångbara vattnet kan sedan indelas i gel-vatten respektive kapillärt vatten.

För att möjliggöra jämförelser mellan exhalation från väggar, kuber och ballast var det nödvändigt att undersöka beroendet av fukthalten.

Kurva A1 i figur 2.1.1 erhöles från mätning på nygjutna kuber med ballast A (anm: ballast A är naturgrus taget från Johanderbolagen, Ekerö, Stockholm). Kuberna var vid mätningens början ca 2 månader gamla och hade då fuktkvoten ca 3 %. Efter att radonavgången bestämts torkades kuberna något och nya mätningar gjordes. På så sätt bestämdes sambandet mellan fuktinnehåll och radonavgång genom successiva mätningar. Kurva A2 erhöles från samma kuber efter uppfuktning i vattenbad till ca 6 viktsprocent. Därefter mättes radonavgång under uttorkning på samma sätt som tidigare. Kurvorna B1 och B2 gäller kuber med ballast

B (anm: ballast B är makadam taget från Nybergskulla Makadam AB, Trollhättan). Samma uttorknings- och uppfuktningschema som föregående kuber har följts. Torkning utfördes i varmluftsugn vid 105 °C.



Figur 2.1.1 Radonexhalation från betongkub som funktion av fuktkvot för två olika betongkvaliteter, ballast A kurva A1 och A2 och ballast B kurva B1 och B2. Kurvorna A1 och B1 avser färsk betong, medan kurvorna A2 och B2 avser uppfuktad betong.

Dessa mätningar påvisar en kraftig ökning i exhalation när fukthalten ökas från torrt tillstånd till ca 2 vikts-procent. Därefter når exhalationen en plattå mellan ca 2 och 4 % (fas 1) och därefter ökar exhalationen ytterligare (fas 2). Fas 1 motsvarar en relativ luftfuktighet i porluften mellan ca 30 och 100 %. I fas 2 är betongen fuktmättad, dvs porerna innehåller fritt vatten.

Resultaten stödjer den teori som tidigare diskuterats. Den kraftiga exhalationsökningen då porerna är mättade, indikerar en högre emanationskoefficient. Men om enbart diffusion betraktas kommer närvaron av vatten att reducera radonexhalationen. Detta beror på den stora skillnaden mellan diffusionskonstanten för radon i luft eller vattenånga ( $10^{-1} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) och i vatten ( $10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ). (Tan 64).

En möjlig förklaring till exhalationsökningen är således att ökningen i emanation till vatten, mer än väl kompenserar för minskningen i diffusionshastigheten. En annan möjlighet är att radonatomernas mobilitet ökar på grund av kapillär vattentransport.

Då vatteninnehållet i porerna ökas ytterligare och till slut helt fyller porerna, bör dock exhalationen avtaga kraftigt. I figur 2.1.1 kan ses att vid ca

5,8 % fukthalt för kurva A erhållits en mätpunkt vilken ligger klart lägre än i den framtagna kurvan. Möjligen skulle detta indikera en reducerad exhalation, men det bör verifieras ytterligare.

Resultaten från mätningarna som gjordes efter uppfuktningen, kurvorna A2 och B2, visar konsekvent lägre exhalation jämfört med värden från den färska betongen, kurvorna A1 och B1. När denna rapport (anm 1982) skrivs har vi dock ingen fullvärdig förklaring till denna "hysteresis" (hysteresis kallas i dagligt tal för hysteres; "hysteresis" är dock det korrekta grekiska ordet på fenomenet). En möjlighet är att de kemiska processerna i cementpastan, dvs hydratationen, orsakat en förändrad betongstrukturen. Ty när hydratisering fortgår kommer en del av de vattenfyllda tomrummen att fyllas av fast cementgel, vilket förtränger kapilläerna. Denna process pågår företrädesvis i den färska betongen. Utöver detta kan nämnas att absorptionen av vatten i det torra tillståndet ej ger samma fördelning av vatten i porerna som i den färska betongen.

Fuktkvotens inverkan och betongkvalitetens betydelse för betongkonstruktionens radonexhalation har kontrollerats. Detta gjordes genom att fem betongkonstruktioner med ballast A och tre med ballast B gjöts med olika kvalitet. I tabell 2.1 redovisas arbetsutförande, tillsatsmedel m m. I figurerna 2.1.2, 2.1.3 och 2.1.4 visas radonexhalationen på de olika betongväggarna i förhållande till den relativa ånghalten.

Radonexhalationen blev för konstruktion 9 3,8 mBq m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> vid 48 % relativ luftfuktighet. Ballasten var från Gråbo.

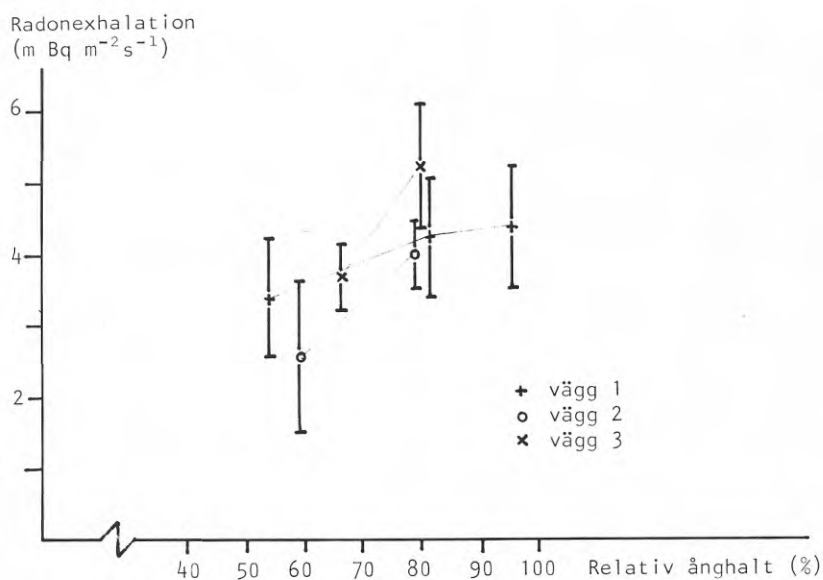
Ur resultaten i figurerna 2.1.2 till 2.1.4 framgår att fuktberoendet i området 45-95 %, vilket motsvarar ett fukttinnehåll av ca 2-4 vikts-%, ej är markant. Detta samstämmer med resultaten i figur 2.1.1 eftersom ovanstående fuktkvot ligger inom kurvans plattå. Detta innebär att eventuell radonmätning i bostaden bör företas först när fuktkvoten sjunkit under 4 vikts-procent och ej direkt efter gjutningen. Som en tumregel kan man säga att mätningen bör ske cirka 4-6 månader efter gjutningen. Därefter är exhalationen ungefär konstant.

Översättning från relativ ånghalt till fuktkvot har gjorts med hjälp av sorptionskurvan som framgår av figur 2.1.5. Kurvans utseende varierar dock med betongkvaliteten.

Tabell 2.1 Arbetsutförande, tillsatsmedel m m för de olika betongkuberna.

Betong- vägg nr	Tillsatsmedel	Vibrering	Ballast	Radium- innehåll Bq/kg	Radium index	Porositet
1	Inget	Normal	A	60±6	0,3	28
2	Flyttillsatsmedel	Normal	A	60±6	0,3	-
3	Vattenreducerande tillsatsmedel	Normal	A	60±6	0,3	-
4	Inget	Normal	A	60±6	0,3	24
5	Flyttillsatsmedel	Normal	A	60±6	0,3	-
6	Inget	Över	B	40±5	0,2	26
7	Inget	Under	B	40±5	0,2	27
8	Flyttillsatsmedel	Normal	B	40±5	0,2	-
9	Inget	Normal	C*	40±5	0,2	-

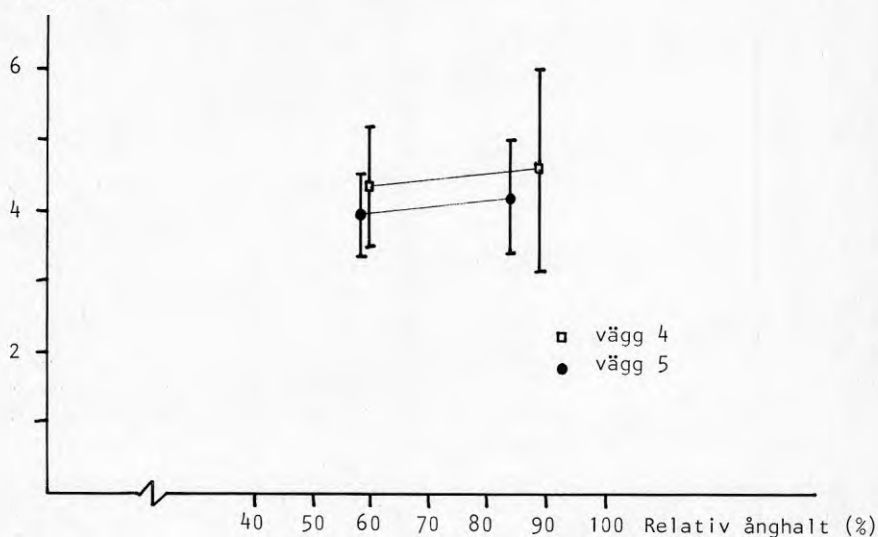
\*Ballast C är naturgrus från Essbetong AB, Gråbo.



Figur 2.1.2 Radonexhalationen i förhållande till relativa ånghalten för tre betongväggar med ballast från Stockholm.

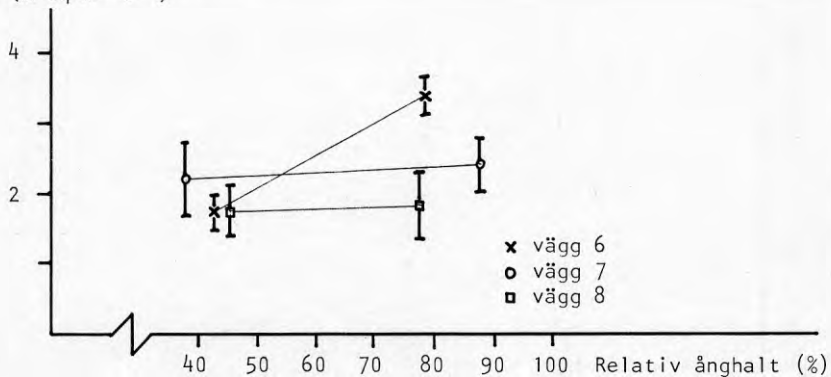


Radonexhalation  
(m Bq m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)

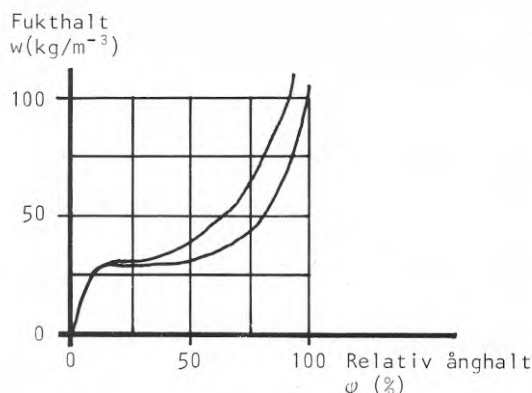


Figur 2.1.3 Radonexhalation i förhållande till relativa ånghalten för två betongväggar med ballast från Stockholm.

Radonexhalation  
(m Bq m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)



Figur 2.1.4 Radonexhalation i förhållande till relativa ånghalten för tre betongväggar med ballast från Trollhättan.



Figur 2.1.5 Fukthalt som funktion av relativa ånghalten för en betongkvalitet K250. (Källa: Fukthandboken, Nevander L-E, Elmarsson B). Anm: Numera är K250 lika med K25.

Man kan ej påvisa någon signifikant skillnad av exhalationen mellan de olika betongkvaliteterna. Statistiska osäkerheten i resultaten är dock ganska stor. Slutsatsen är att undersökta betongkvaliteter ej ger någon påtaglig reduktion av exhalationen.

Radonexhalation har även bestämts för två gasbetongkonstruktioner. Ena väggen bestod av tre stående väggelement som byggts upp i laboratoriet. Vardera element hade dimensionerna  $(0,25 \cdot 0,60 \cdot 2,40)\text{m}^3$ . Gasbetongvägg 2 byggdes av murblock med tunnfogsteknik. Väggens dimension var  $(0,30 \cdot 1,20 \cdot 1,20)\text{m}^3$ . Båda gasbetongväggarna var alunskifferbaserade.

Tabell 2.2 Gasbetongväggar från Ytong.

Vägg	Radonexhalation $\text{mBq m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Radiumkoncentration $\text{Bq kg}^{-1}$	$\frac{\text{Radonexhalation}}{\text{Radiumkoncentration}}$ $\text{mBq m}^{-2}\text{s}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$
1	$29,0 \pm 7,0$	1460	$2,0 \cdot 10^{-2}$
2	$55,7 \pm 8,3$	2500	$2,0 \cdot 10^{-2}$

Kvoten radonexhalation/radiumkoncentration är för bägge gasbetongväggarna densamma. Väggarna har olika tjocklek, 0,25 respektive 0,30 m, vilket om konstruktionerna är lika borde ge 11 % högre kvot för vägg 2.

Materialet till båda väggarna har varit liggande i laboratorium i normalt inomhusklimat (dvs 20 °C) under flera månader innan mätningarna företogs. Dessförinnan var materialet liggande i Ytongs lager i Kumla.

Genom att känna till exhalationen från väggmaterialet samt förutsätta att det ej finns annan radonkälla i rummet kan radonhalten beräknas. I ett normalstort rum ( $3 \cdot 4 \cdot 2,4$ ) m<sup>3</sup> byggt av betong med ballast A blir radonhalten i rummet cirka 50 Bq/m<sup>3</sup> vid en luftomsättning av 0,5. Motsvarande rum med väggar av blå gasbetong ger radonhalten 370 Bq/m<sup>3</sup> (för gasbetongvägg 1) och 650 Bq/m<sup>3</sup> (för gasbetongvägg 2). Samtliga beräkningar utgår från att rummets ytor ej har yt-skikt.

Radonavgången från undersökta betongkonstruktioner ger en begränsad radonhalt i bostaden enligt ovanstående resonemang. Däremot blir radonhalten hög i bostaden med blå gasbetong i väggarna.

#### 2.1.4 Ytskiktets inverkan på radonexhalationen

I föregående avsnitt 2.1.3 redovisades radonexhalationen från obehandlade ytor. Här visas effekten av olika ytskikt såsom målning och tapetsering.

Betongvägg 1 har tapetseras med papperstapet, plasttapet samt målats två gånger med plastfärg. Innan betongytan tapetserades putsades den med finputs för att få en god ytjämnhet. Papperstapeten var av typ simplex tapet (trähaltigt enskiktspapper). Plasttapieten är gjord av homogen PVC-plast, med fyllmedel. Dess ytvikt var 250 g m<sup>-2</sup>. Både plast och pappers-tapeten klistrades med tapetklister. Samma mätningar har utförts för gasbetongvägg 1. Resultaten redovisas i tabellerna 2.3 och 2.4.

Tabell 2.3 Betongvägg 1.

Mätt yta	Motstående yta	Radonexhalation mBq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Obehandlad	Obehandlad	3,6 ± 0,5
Putts + papperstapet	"	3,6
Putts + plasttapet	"	0,8 ± 0,1
Putts + 2 lager plastfärg	"	1,0 ± 0,1

Tabell 2.4 Gasbetongvägg 1.

Mätt yta	Motstående yta	Radonexhalation mBq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Obehandlad	Obehandlad	29,0 ± 7,0
Puts + papperstapet	"	14,8 ± 0,2
Puts + papperstapet + 2 lager plastfärg	"	< 1

Under ytbehandlingen ligger finputslager. Papperstapeten innehöll ett mycket tunt plastskikt, vilket ej normalt förekommer på andra papperstapeter. I tredje mätningen ströks papperstapeten med två lager av plastfärg (med bindemedel av akrylat). I tabell 2.4 redovisas radonavgången där motstående betongyta är obehandlad, vilket skulle motsvara vad som händer om man ytbehandlar en yttervägg. Det vanligaste ytskiktet på gasbetongens utsida är en sandbaserad puts som är luftgenomsläpplig, vilket i våra mätningar motsvarar en obehandlad yta.

Slutsatsen blir att plastfärg och plastskikt kraftigt reducerar exhalationen. Ren papperstapet ger ingen signifikant reduktion.

En teoretisk beräkning visar att ett tätt ytskikt på ena ytan ökar radonexhalationen på den motstående sidan. Mätningar har utförts som styrker dessa beräkningar. Resultaten framgår av tabellerna 2.5 och 2.6.

Tabell 2.5 Gasbetongvägg 1.

Mätt yta	Motstående yta	Radon- exhalation mBq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Puts + papperstapet	Puts + papperstapet	14,8 ± 3,1
Puts + pappertapet	Puts + plasttapet	28,6 ± 7,0

Tätt ytskikt på väggens motstående sida påverkar radonavgången. Dock är den förväntade effekten utifrån teorin endast ca 50 % exhalationsökning.

Tabell 2.6 Gasbetongvägg 2.

Mätt yta	Motstående yta	Radon-exhalation mBq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Obehandlad	Obehandlad	55,7 ± 8,3
Puts + papperstapet	Obehandlad	30,9 ± 7,7
Obehandlad	Puts + papperstapet	66,0 ± 2,5

Samma typ av puts och tapet har använts som vid tidigare mätningar i tabellerna 2.3 och 2.4.

I de resultat som hittills har presenterats har hänsyn ej tagits till att arbetsutförandet inte alltid varit perfekt. I gasbetongvägg 1 har spikhål och skarvar genom ytskikten gjorts för att visa hur brister i arbetsutförandet kan inverka. Resultaten redovisas i tabell 2.7.

Tabell 2.7 Gasbetongvägg 1.

Mätt yta	Motstående yta	Radon-exhalation mBq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Puts + papperstapet + 2 lager plastfärg + skarv	Obehandlat	12,9 ± 0,8
Puts + papperstapet + spikhål	Puts + papperstapet	22,9 ± 5,3

Förhållandet mellan skarvens längd och mätytan är 2,0 m<sup>-1</sup>. Bakom ett ytskikt byggs radonkoncentrationen upp inne i konstruktionen. Görs en genomföring i ytskiktet punkteras den förhöjda radonkoncentrationen i väggen tills ett nytt jämviktsvärde erhålls. Först vid denna tidpunkt kan mätningen utföras. I vårt fall har vi väntat ca 2 veckor efter punkteringen.

Kortfattat visar resultaten från mätningarna på gasbetong och betongväggar att ett tätt ytskikt reducerar radonexhalationen. Samtidigt byggs det upp en högre radonhalt i väggen. Radonutläckning genom eventuella skarvar eller spikhål minskar den reduktion som ytskiktet ger.

#### 2.1.5 Tryckgradientens inverkan på exhalationen

Lufttrycksgradienter i porösa material har generellt visats ge förändringar i exhalationen. Jonasson och McLaughlin (Jona 75, McL 78) har för byggnadsmaterial (betong) visat att radonexhalationen ökar linjärt med ökade undertryck. Dock bör observeras att exhalationen är oberoende av lufttryckets storlek, dvs endast lufttrycksgradienter ger förändrad exhalation.

#### 2.1.6 Temperaturgradientens inverkan på exhalationen

Påverkan av temperaturförändringar på porösa materials exhalation har noterats. Gabrysh och Davis (Gab 55) fann en 20 % ökning i exhalation från betong när denna värmdes från 20 till 59 °C. Auxier (Aux 73) fann däremot ingen förändring i exhalation från betong mellan 23 och 43 °C. Således råder en stor osäkerhet beträffande temperatureffekter. I de flesta fall är det svårt att specifikt korrelera en meteorologisk parameter till exhalationsförändring då även andra meteorologiska parametrar förändras vilket ofta är fallet vid fältmätningar.

#### 2.1.7 Gränsvärde

För radonexhalation från material finns inga gränsvärden, men däremot för ett materials radiuminnehåll vilket uttrycks i radiumindex, se 2.1.1. Kravet i svensk byggnorm 1980 är ett radiumindex mindre än 1,0 för samtliga byggnadsmaterial. Radiuminnehållet är en av flera parametrar som bestämmer radonavgången. Radiumkoncentrationen ensamt är ej tillräckligt för att karaktärisera radonavgång för ett material.

#### 2.1.8 Exhalation från väggar, kuber och ballastprover

Resultaten från mätning på betongkuber framgår av avsnitt 2.1.3. Det är av stor vikt att fukthaltsberoendet för materialet är känt för att jämförelser med litteraturuppgifter skall vara möjlig. De i detta avsnitt presenterade resultaten saknar undersökning av fukthaltsberoendet för andra material än betong. Resultaten redovisas i tabellerna 2.8 och 2.9.

Tabell 2.8 Radonexhalation från betongväggar ( $1,15 \cdot 1,15 \cdot 0,15$ )m<sup>3</sup> och kuber ( $0,15 \cdot 0,15 \cdot 0,15$ )m<sup>3</sup> av byggnadsmaterialet.

Typ av prov	Ballast	a) Radium-226 koncentration (Bq kg <sup>-1</sup> )	Porositet	Fuktkvot (% av vikt)	Radon-222 exhalation (mBq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Exhalationsfaktor $\gamma$
vägg	A	60 ± 6	0,28 ± 0,05	3,15-4,75	3,4-4,4	
kub	A	60 ± 6	0,28 ± 0,05	3,15-4,75	1,5-1,75	0,20-0,24
vägg	B	40 ± 5	0,26 ± 0,03	3,3-4,1	1,6-2,1	
kub	B	40 ± 5	0,26 ± 0,03	3,3-4,1	0,8	0,17
vägg	C	40 ± 5	-	3,0	2,6	
kub	C	40 ± 5	-	2,5-3,7	0,7-0,9	0,15-0,19
kub	gips/ GYPROC	-	0,81 ± 0,08	-	<0,1	-
kub	lerklinker, - LECA	-	0,60 ± 0,10	-	0,08 ± 0,04	-
kub	gasbetong sandbas YTONG	106 ± 11	0,80 ± 0,08		0,05 ± 0,03	0,03
vägg	blå gasbe- tong YTONG	1500 ± 100	0,80 ± 0,08	-	28 ±	
kub	blå gasbe- tong YTONG	1500 ± 100	0,80 ± 0,08	-	8,0 ± 0,4	0,19
-	tegel	87 ± 9	-	-	<0,3	-



Tabell 2.9 Radonexhalation från ballastmaterial.  
Geometri (0,15 · 0,15 · 0,15)m<sup>3</sup>.

Typ av prov	Fyndighet	a) Radium-226 koncentration (Bq kg <sup>-1</sup> )	Storleksfaktor (mm)	Radon-222 exhalation (mBq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Exhalationsfaktor γ
Ballast	A	60 ± 6	0 - 8	0,096±0,009	0,21
"	A	62 ± 6	8 - 16	0,053±0,009	0,11
"	A	63 ± 6	16 - 32	0,055±0,004	0,12
Kub	A	60 ± 6	-	0,01 - 0,16	0,02-0,35
Ballast	B	40 ± 5	0 - 6	0,044±0,005	0,15
	B	40 ± 5	6 - 10	0,026±0,007	0,09
	B	33 ± 5	10 - 20	0,028±0,002	0,11
Kub	B	40 ± 5	-	0,006- 0,09	0,02-0,30
Ballast	C	40 ± 5	0 - 8	0,084±0,005	0,28
	C	40 ± 5	8 - 16	0,096±0,012	0,32
	C	40 ± 5	16 - 32	0,079±0,005	0,26
Kub	C	40 ± 5	-	0,04 - 0,06	0,13-0,20
Ballast	b) Sverige	48	-	-	-
Cement	Slite	38 ± 5	-	0,006±0,001	0,02
Vatten	SP	<1	-	-	-

a) Radium-226 koncentrationerna bestämdes genom gammaspektrometri (Ge-Li) mätningar vid (LURI).

b) Medelvärde för Sverige: Referens Swe 78.

Kvoten mellan väggen ( $E_W$ ) och kubens ( $E_K$ ) fria exhalation från betong-lättbetong kan beräknas ut resultaten i tabell 2.8.

Vägg A:  $E_W/E_K = 2,3 \pm 0,2$

Vägg B:  $E_W/E_K = 2,3 \pm 0,3$

Blå gasbetong:  $W_W/E_K = 3,5$

De erhållna kvoterna stämmer relativt bra med det förväntade värdet 3. Kvoten skall dock ej som i fallet med blå lättbetong överstiga värdet 3, vilket dock kan förklaras med att gasbetongblockets tjocklek (0,25 m) överstiger kubens kantlängd. Detta innebär en högre radonexhalation per ytenhet för väggen.

I tabell 2.9 återfinns resultaten från exhalationsmätningar på ballastmaterialet. Man kan förvänta sig en något större exhalation för de mindre fraktionerna, ty den specifika ytan är betydligt större. Ballast A och B men ej C ger också en signifikant större exhalation för de minsta fraktionerna.

I tabell 2.9 jämförs också värdet för ballast med motsvarande kubexhalationer. Exhalationen ges här per massenhet istället för per areaenhet. De värden som anges för kuberna refererar till de extrema situationerna, torrt och mättat tillstånd, enligt figur 2.1.1. Ballastmaterialens och cementens fukttinnehåll vid tidpunkten för mätningarna är ej känt, men är lägre än 1 vikt-procent.

Från exhalationsvärdena för ballast, cement och vatten i tabell 2.9 kan den viktade exhalationen per massenhet som ingår i en betongkub beräknas. Resultat:

Kub med ballast A:  $(0,07 \pm 0,01) \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$   
 " B:  $(0,03 \pm 0,01) \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$   
 " C:  $(0,07 \pm 0,01) \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$

För ballast A och B är dessa beräknade exhalationer för kuber lägre än de uppmätta värdena från kuber med högt fukttinnehåll vilket är rimligt, ty fukttinnehållet i ballasten är lägre. Exhalationen är högre än för de torra kuberna, vilket är rimligt ty radon diffunderar lättare i ballastprovet än i den kompakta betongkuben. Samma resultat erhålls om motsvarande beräkning görs för betongväggarna. För ballast C är en jämförelse svår ty det saknas en komplett undersökning av fuktberoendet för motsvarande kub.

Det är värt att notera cementens låga exhalationsfaktor i förhållande till övrig ballast.

I tabell 2.10 redovisas radonavgångsbestämningar utförda av andra institutioner än SP och radiofysiska i Lund.

Tabell 2.10

Material	Radonavgång $\text{mBq m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Referens
Betong	0,3 - 0,4	Jona 78
Betong	5,5 - 7,6	Mus 80
Alunskifferbaserad gasbetong	3 - 9	Jona 78
Sandbaserad gasbetong	0,04 - 0,07	Jona 78
Lättklinker	0,05	Jona 78
Lättklinker	1,11 - 2,8	Mus 80
Gips	0,001	Jona 78
Gips	0,4 - 3,8	Mus 80
Tegel (solid)	0,005	Jona 78
Tegel (håltyp)	0,002	Jona 78

Markradon är benämningen på det radon som bildats i marklagren och befinner sig i markens porvolym.

### 2.2.1 Produktion av radon

Radonet produceras då radiumatomer i mineralkornen i sand och jord sönderfaller och bildar ädelgasen Radon. 5 - 60 % av radonatomerna lämnar (emanerar) mineralkornen och transporteras (exhaleras) till porvolymen. Emanationen från ett material är större ju finare eller porösare ett material är. Exhalationen påverkas av fuktkvoten i marken. Se fig 2.2.1

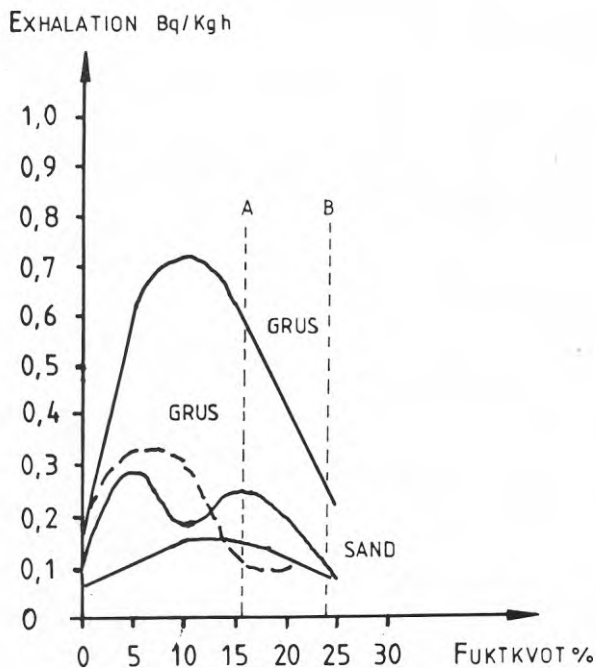


Fig 2.2.1 Exhalationens variation med fuktkvoten för olika jordarter (SGI 1984)

Den potentiella risken ligger i jordmaterialets uranhalt som normalt ligger på mellan 1 - 10 ppm Uran.

31

Man kan utifrån dessa parametrar beräkna den maximalt uppnåeliga radonhalten i porvolymen ( $C_{\max}$ ).

$$C_{\max} = \frac{A \times U \times e \times \rho}{P} \quad (\text{Bq/m}^3)$$

A = specifik aktivitet för uran, 12.3 Bq/mg uran, motsvarande 12.3 Bq/kg per ppm uran. Sönderfallsjämvikt mellan uran och radium - 226 förutsättes.

U = uranhalt (ppm)

e = emanation

E = exhalation (Bq/kg s)

$\rho$  = skrymdensitet ( $\text{kg/m}^3$ )

P = porvolym

Ovanstående uttryck gäller utan luftomsättning i porvolymen. Tar man även hänsyn till luftomsättningen blir uttrycket

$$C_1 = \frac{\lambda}{\lambda + 1} C_{\max}$$

där

$C_{\max}$  = maximalt uppnåelig radonhalt ( $\text{Bq/m}^3$ )

$\lambda$  = radonets sönderfallskonstant  
( $7.55 \cdot 10^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ )

1 = luftomsättningar ( $\text{h}^{-1}$ )

Väl ute i porvolymen kan radongasen transporteras genom diffusion och med jordluftens rörelse. Transport med diffusion begränsas till korta avstånd medan konvektiv transport kan ske över större sträckor beroende på permeabiliteten (luftgenomsläppligheten).

Låg permeabilitet medför att markradonets rörlighet blir begränsad.

Hög permeabilitet medför att markradonet kan transporteras längre sträckor och i större mängder.

För att radongas skall kunna komma in i husen och medföra förhöjda halter krävs ett aktivt flöde (s k konvektiv infiltration). Diffusion kan man i dessa sammanhang helt bortse från. Infiltrationen är beroende av tryckskillnader i luften mellan mark och hus samt av husets täthet mot marken. Denna tryckskillnad, som uppkommer p g a den s k skorstenseffekten, grundar sig på densitetsskillnaden mellan luftmassor med olika temperaturer.

I hus utan fläktventilation kallar man denna skorstenseffekt för självdrag. Självdraget är beroende av husets täthet och temperaturskillnaden ute/inne samt av vindpåverkan. Detta innebär att bäst ventilation erhålles på vintern och sämst på sommaren.

Man anpassar sig dock till de olika förhållandena, då man vintertid stänger till ventilationsöppningar och vädrar mindre och tvärtom på sommaren. Detta naturliga beteende medför att tätheten ändras på husets skal som har kontakt med omgivande uteluft, men tätheten mot marken påverkas inte!

På vintern erhåller man därför normalt ett större inflöde av markradon samtidigt som luftomsättningen är större. Motsatt förhållande erhålls på sommaren.

För hus belägna på mäktiga och luftgenomsläppliga grusåsar måste ovanstående resonemang kompletteras med den tillkommande skorstenseffekten i själva grusåsen, vilket gör att åsen aktivt kan öka eller minska inflödet av markradon.

Nedanstående temperaturdiagram, fig 2.2.2, visar att det finns drivande krafter i tre luftmassor som påverkar markluftens flöde, nämligen luften utomhus, inomhus och i åsen. Dessutom påverkas flödet av vind- och lufttrycksförändringar.

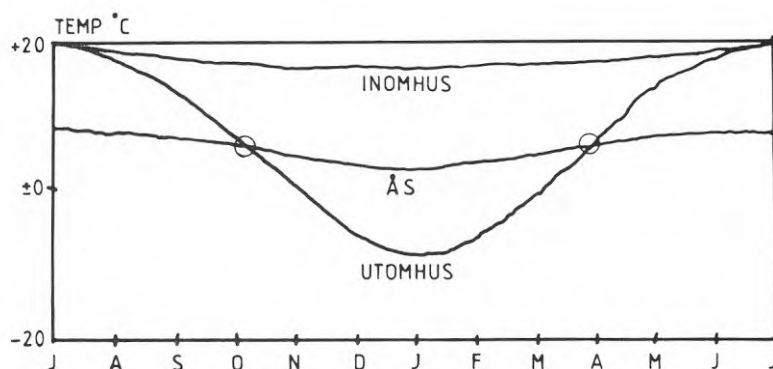


Fig 2.2.2 Temperaturvariationer i hus, ås och utomhus under ett år

En luftmassa innesluten av ett permeabelt gränsskikt får en viss strömningsbild som är beroende av fördelningen av gränsskiktets otäthet. Detta gäller såväl innesluten luftmassa i ett hus som i en ås. För att självdraget i ett hus skall leda till en luftomsättning krävs att luft strömmar både in och ut ur huset. Detta medför i sin tur att det måste finnas en övertrycks- och en undertryckszon i huset. Mellan dessa zoner finns ett neutralt plan där varken in- eller utströmning sker! Se figur 2.2.3.

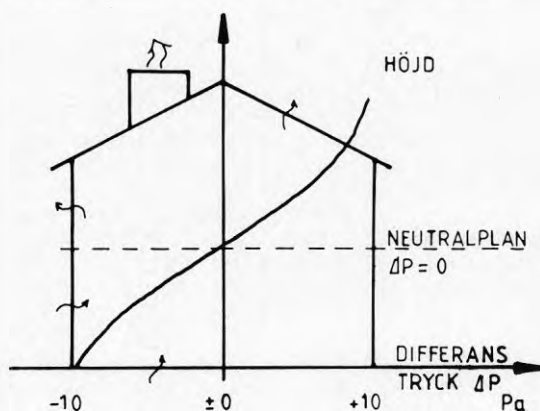


Fig 2.2.3 Under- och övertryckszon samt neutralt plan i ett hus med jämnt fördelade otätheter

Var detta neutrala plan finns beror på läckage- och ventilers fördelning i huset. Om gränsskiktet är jämnt permeabelt, kommer neutrala planet att befinna sig på halva höjden.

I verkligheten är inte ventiler och läckage jämnt fördelade, varför neutrala planet kommer att finnas på den övre halvan i huset och i vissa fall sker tryckets vändpunkt först i ventilationskanalerna, varvid undertryck erhålles i hela huset. I det senare fallet kan alltså undertrycket över golvet mot marken vara större än i det förra fallet. Om tätheten mot marken är lika kommer inflödet av markradon att bli större då undertrycket är större.

Resonemanget om tryckbildens kan överföras på en grusås på grund av att porvolymen är cirka halva åsens volym, dvs 50 % består av luft.

### 2.2.3 Inverkan av husens läge på en grusås

Det finns troligen ett neutralt plan i en grusås, vilket innebär att de hus som vintertid finns ovanför neutralplanet får markluft intryckt i huset och de under neutralplanet får hjälp med att hålla markradonet ute. Den drivande kraften i husen är dock



större, varför åsens inverkan i de flesta fall inte leder till någon dramatisk förändring av radoninflödet. Den intressantaste förändringen sker då utomhus-temperaturen och temperaturen i åsen passerar varandra, vilket i detta resonemang innebär att flödesriktningen i åsen vänder.

Radonhaltens variation i tiden och spridningsbild i marken är ännu inte tillnärmelsevis undersökt och eventuella praktiska studier av de olika luftmassornas upphov till tryckskillnader ännu mindre. Ovanstående resonemang är till för att leda tanken till de fysikaliska händelser som kan synas ligga bakom markradonets inträngande i våra bostäder.

Då markradonet kommer in genom sprickor, koncentrerat eller diffust, i husdelar som har kontakt med marken kan man också förvänta sig att det i dessa delar kommer att finnas en högre radonhalt. När ädelgasen radon precis kommit in är den helt radondötterfri till följd av att marken fungerar som ett filter för radondöttrarna. Under radonets vandring med luftströmmen i huset tillväxer radondöttrarna genom radonets sönderfall.

Detta medför att radondötterhalten relativt radonhalten tilltar med avståndet från inläckagestället samtidigt som det under sin väg utspädes med frisk luft. Förhållandet mellan radon och dess döttrar ligger i intervallet 0,3 - 0,7 men i närheten av ett inläckageställe är det mycket lägre. Det är därför i princip möjligt att genom samtidig mätning av radon och radondötterhalt med hjälp av jämviktsfaktorn avgöra om man är nära något koncentrerat läckageställe.

Radondöttrarnas tillväxande på grund av radonets sönderfall och dess avtagande på grund av luftväxling med uteluft kan i vissa fall medföra att radondötterhalten i hus med öppna planlösningar absolut sett stiger med höjden.

Det är ingen skillnad på radon och radondöttrarnas egenskaper vare sig det kommer från marken eller byggnadsmaterialet. Det är istället luftens tillstånd inomhus som kan påverka radondötterhalten utifrån ett givet inflöde av radongas.

Det måste understrykas att det från marken inte är frågan om joniserande strålning utan om konvektivt inflöde av en gas. Denna gas är instabil och sönderfaller till radondöttrar (som vi inandas), vilkas alfa-strålning med en räckvidd i vävnad av ca 1/20 mm träffar lungorna och kan ge skador som kan leda till lungcancer.

Beroende på radonhalten i marken och inflödets storlek erhålles olika potentiella inomhushalter enligt tabell nedan för ett hus med en volym av 500 m<sup>3</sup> och 0,5 luftomsättningar per timme.



Tabell 2-1 Radondotterhalter för ett hus på 500 m<sup>3</sup> och 0,5 luftomsättningar vid olika radonhalter i marken och inläckande luftmängder 35

Radonhalt i mark Bq/m <sup>3</sup>	Inläckande luftmängder m <sup>3</sup> /h						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0
10 000	4	8	12	16	20	40	80
50 000	20	40	60	80	100	200	400
100 000	40	80	120	160	200	400	800
500 000	200	400	600	800	1000	2000	4000

Förutom ovan nämnda faktorer är storlek på byggnadens yta mot marken av betydelse. En större yta ger normalt större risker.

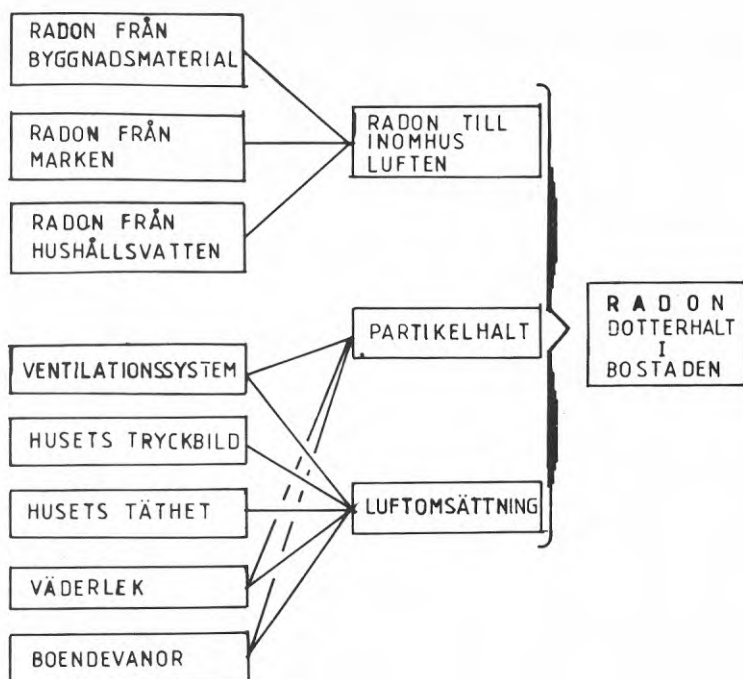
Tabellen visar även att mark med normal halt, dvs ca 10 000 Bq/m<sup>3</sup>, kan ge upphov till förhöjda halter inomhus om tillräckligt med markluft tränger in. De i tabellen angivna läckagemängderna är i detta sammanhang låga.

Man bör alltså alltid se till att grunden i ett hus är tät mot marken för att undvika förhöjda radonhalter.

### 2.3 Radon- och radondotterhaltsvariation i tiden

Radonhalten i en bostad beror på en mängd faktorer. Radonhalten är sällan konstant utan varierar med tiden. I hus med markradon kan det förekomma variationer med upp till en faktor 10 under ett dygn. I vanliga fall varierar givetvis inte radondotterhalten så mycket men det är inte ovanligt med en faktor 2 till 4.

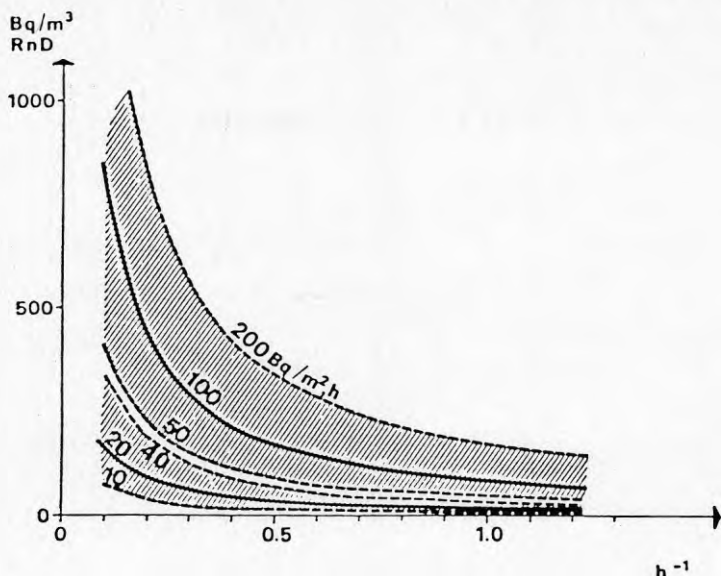
Radonhalten i bostaden beror bl a på hur stor radonavgången är från byggnadsmaterialet och marken. Finns ett tillskott av radon från marken förutsätter detta att radonet på något sätt kommer in i bostaden. Vidare beror radondotterhalten på vilken luftomsättning bostaden har, partikelkoncentration, elektriska fält m m. I figur 2.3.1 visas schematiskt vad som bestämmer radondotterhalten i bostaden.



Figur 2.3.1 De huvudsakliga faktorer som påverkar radondotterhalten i bostaden

I figur 2.3.1 finns hushållsvatten med som en av de faktorer som påverkar radonavgivningen till inomhusluften. Det är dock ovanligt att detta orsakar några problem med höga radondotterhalter i svenska hus. I stort sett gäller det enbart i hus med egna vattentäktar borrhåll i uranrika bergarter där radon kan avgå från hushållsvattnet till inomhusluften.

Luftomsättningens storlek inverkar stort på vilken nivå radondotterhalten får. Figur 2.3.2 beskriver hur radonhalten varierar vid olika luftomsättningar om radontillförseln är konstant.



Figur 2.3.2 Radonhalten som funktion av luftomsättningen vid konstant radontillförsel.

I hus med självdragsventilation varierar luftomsättningen under året. Under sommaren när utetemperaturen är nära inomhusluftens blir det ingen termisk drivkraft i ventilationskanaler vilket medför låg luftomsättning. Å andra sidan sker fönstervädring i betydligt större omfattning sommartid. Under vintern när det är som störst temperaturskillnad inne-ute blir det termisk drivkraft i ventilationskanaler och därmed bättre luftomsättning jämfört med sommarfallet.

I hus med fläktstyrd ventilation varierar inte radonhalten under året på samma sätt som i hus med självdragsventilation. I dessa hus är luftomsättningen jämnare under året vilket också ger en ganska konstant radonhalt.

I hus med markradon tillkommer ytterligare några faktorer som påverkar radonhaltens värde inomhus. De viktigaste faktorerna är

- 1 vilken tryckskillnad som råder mellan bostaden och under bottenplattan
- 2 läckagets area
- 3 radonhalten i marken
- 4 markens luftgenomsläpplighet

Normalt råder ett svagt undertryck i huset i förhållande till marken (strax under plattan). Ju större undertryck desto större risk är det för att radonhalten ökar inomhus. Men när det största undertrycket råder, normalt på vintern, är också ventilationen som störst. Detta innebär att effekten dämpas något.

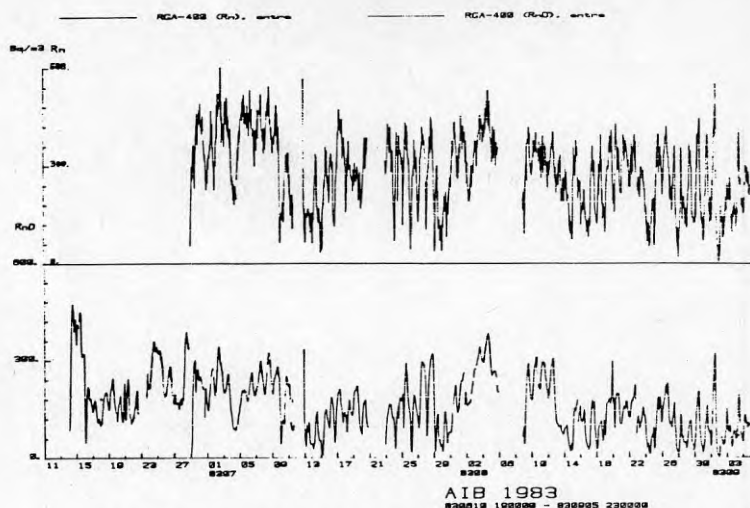
För att illustrera radon- och radondotterhaltsvariationen i tiden visas i figurerna 2.3.3, 2.3.4 respektive 2.3.5 och 2.3.6 gjorda mätningar i två rum i ett hus med både radon från marken och radon från byggnadsmaterial under två perioder - nämligen 13 juni till 5 september 1983 och 8 februari till 2 maj 1984.

Mätningarna visar på stora variationer över dygnet samtidigt som variationen över längre tid verkar vara rätt liten. Detta gäller med undantag för mätningen sista perioden i det nedre rummet, där radonhalten mot slutet ökar en faktor 2. Detta kan möjligen förklaras av att denna förändring sker i samband med att medeltemperaturen i luften blir varmare än i marken. Tryckförhållandena i marken förändras då på ett sådant sätt att en större mängd markluft tränger in i huset.

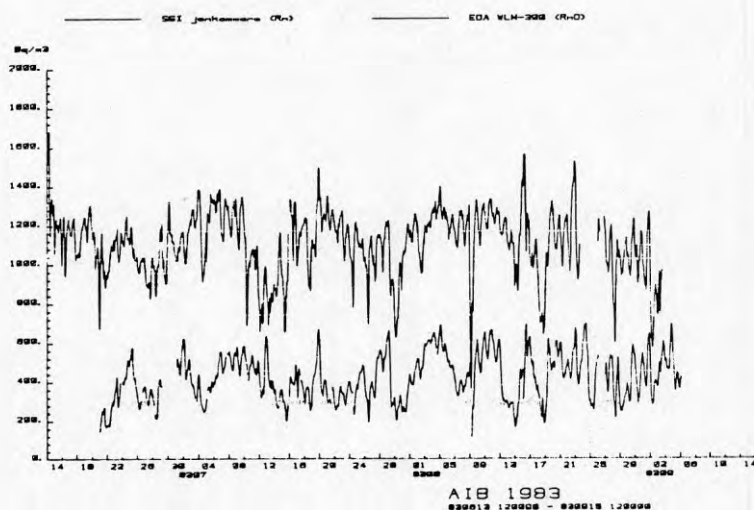
Från dessa mätningar har mättidens inverkan på onoggrannheten i bestämning av långtidsmedelvärdet gjorts /R159:1984/. De visar att man för att erhålla en god uppskattning av långtidsmedelvärdet bör mäta minst ett helt dygn, helst tre dygn, för att dygnsvariationerna och andra momentana variationer inte i alltför stor utsträckning skall påverka mätningens användbarhet. I tabell 2-2 redovisas resultatet med 90 och 95 % konfidensintervall.

Man kan för detta aktuella huset se en skillnad på det nedre rummet med hög radonhalt, som ej används, med direkt markkontakt och det övre rummet med låg radonhalt, i anslutning till normalt boende, utan markkontakt.

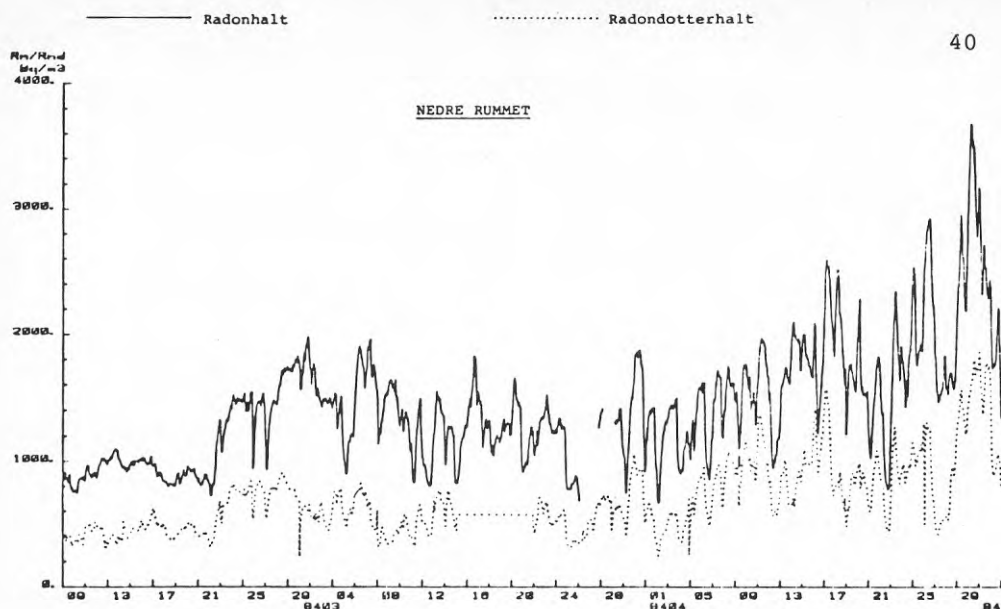
Det statistiska materialet för 24 och 72 timmarsperioderna är reducerat på grund av bortfall av perioder där mätvärden saknades vilket medför att osäkerheten i kvantifieringen, speciellt för 72 timmarsperioden, kan vara betydande. Den mest heltäckande mätserien har erhållits för radonhalten i det nedre rummet.



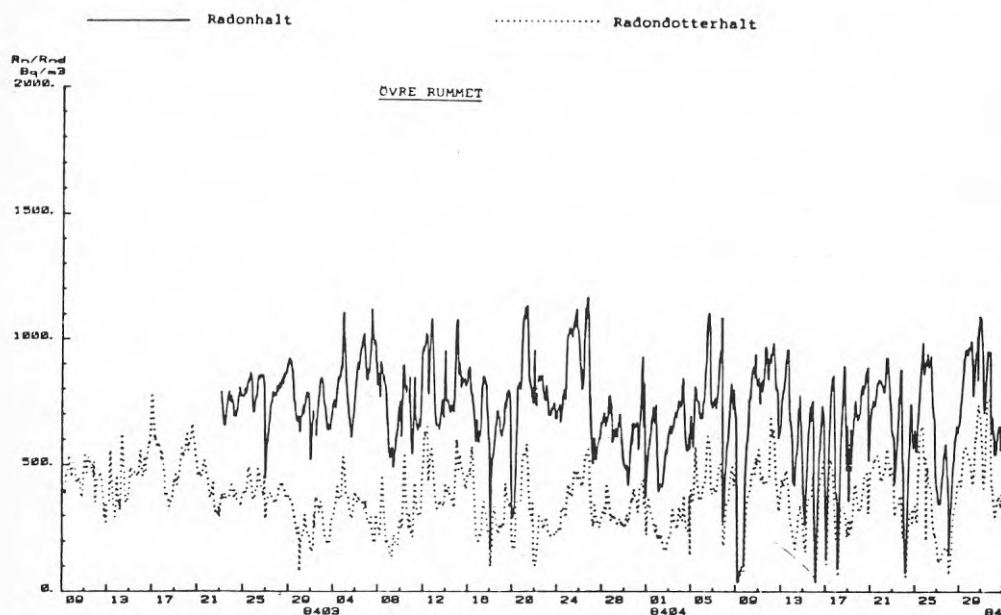
Figur 2.3.3 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med RGA-400 i det övre rummet under perioden 13 juni - 5 september 1983



Figur 2.3.4 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt med SSIs jonkammare och WLM-300 i det nedre rummet under perioden 13 juni - 5 september 1983



Figur 2.3.5 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt i det nedre rummet under perioden 8 februari - 2 maj 1984



Figur 2.3.6 Kontinuerlig registrering av radon- och radondotterhalt i det övre rummet under perioden 8 februari - 2 maj 1984

Osäkerheten bör vid kvantifiering av årsmedelvärdet ökas i relation till 12-veckorsperioders statistiska avvikelse från årsmedelvärdet.

Tabell 2-2 Inverkan av mättidens längd på onoggrannheten i bestämningen av radon- och radondotterhaltens långtidsmedelvärde för 3 månader med 90 % och 95 % konfidens

Tid h	Övre rummet				Nedre rummet			
	Rn 1)		RnD 1)		Rn 2)		RnD 3)	
	90	95	90	95	90	95	90	95
1	64	72	86	100	24	30	45	53
3	61	69	86	100	24	30	45	53
6	58	64	83	98	24	30	44	48
24	45	54	61	71	20	23	34	41
72	20	20	39	44	12	15	19	21

- 1) RGA-400 EDA Instr Inc, i medeltal 277 Bq/m<sup>3</sup> radon <sup>4)</sup> och 165 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar
- 2) Jonkammare SSI, i medeltal 1101 Bq/m<sup>3</sup> radon
- 3) WLM-300 EDA Instr Inc, i medeltal 419 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar
- 4) Referensvärde 365 Bq/m<sup>3</sup> enligt mätningar med SSIs TLD-baserade instrument

En liknande undersökning, som sträckte sig över ett år /Dr Sw 1985/, visade för ett hus med radon från byggnadsmaterialet en osäkerhet i bestämningen av årsmedelvärdet från 33 % för en momentan mätning till 13 % för en tremånaders integrerad mätning. Att osäkerheten inte är större jämfört med den tidigare undersökningen beror på att radonkällan i denna i det närmaste är konstant, vilket medför att det endast är luftomsättning och boendevanor som orsakar variationerna. Undersökningen visade också att mätning i hus med okontrollerad ventilation kan ge olika resultat beroende på vilken tid på dygnet man utför en momentan mätning, på grund av de dygnsvariationer som förekommer. Dessutom kan vindens påverkan på resultatet bli för stor om det blåser mer än 6 m/s, varför man rekommenderar att då inte utföra mätningar.



## 2.4 Besiktningsmetodik och instrumentering

### 2.4.1 AIB's projekt

I projektets inledning hade vi stor tilltro till rutinemässiga mätningar med TLD-instrument som tillverkats av Studsvik efter modell från Statens Strålskyddsinstitut och som inköpts till Statens Provningsanstalt för användning inom BFR's olika projekt med anknytning till radon. I inledningen uppfyllde instrumenten troligen den uppställda kravspecifikationen om ca 10% onoggrannhet. Efter en tid när vi på prov exponerade två mätare intill varandra visade det sig dock att vid lägre halter, som är aktuella i nybyggda hus och ibland även i äldre hus efter framgångsrika åtgärder, var mätfelet minst ca 100%.

Detta blev incitament till att som en utvidgning av pågående projekt i samarbete med Statens Strålskyddsinstitut genomföra en jämförande mätning i bostadsmiljö. I denna mätning exponerades grupper av alla utnyttjade detektortyper i ett hus med förhöjd radonhalt. De erhållna mätvärdena relaterades till resultat av samtidig mätning med SSI's forskningsinstrument och därmed indirekt till riksnormalen för radon. Resultatet visade att för flera av de vanligen utnyttjade metoderna var systematiskt fel och spridning större än många föreställt sig, och i flera fall uppfylldes ej de krav som ställdes i de antagna metodbeskrivningarna. Resultatet rapporterades i BFR's serie /Ericson 84/. Resultatet blev ett incitament för flera laboratorier och företag att höja ambitionsnivån med förbättrat kalibreringsförfarande och intern kvalitetskontroll. Detta gav bättre resultat vid en upprepning av den jämförande mätningen som finansierades av SSI fristående från detta projekt /Ericson 84a/.

Baserat på resultaten från denna senare del av den jämförande mätningen samt resultaten från en motsvarande internationell jämförande mätning i laboratoriemiljö /CEC 83/ valde vi för den avslutande kontrollmätningen under 1985 i de studerade husen att använda radonmätande detektorer baserade på film i kopp med filter från Strålskyddstjänst. En grupp bestående av sex detektorer togs ut för kontroll och exponerades lika i en miljö med bedömd låg radonhalt under ca tre månader i en lägenhet utan markkontakt eller skifferbaserad lättbetong i stommen. Resultatet från denna provexponering blev något av en besvikelse då mätvärdena visade en spridning mellan 10 och 200 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar (omräknat från radon vid kalibrering under antagande om jämviktsfaktor lika med 0.5). Frekvensfördelningen framgår av figur 2.16. Radondotterhalten i det rum där filmerna exponerades registrerades under 20 dygn med ett instrument av typ WLM 300. Medelvärdet blev för denna tid 10 Bq/m<sup>3</sup> med variation mellan 5 och 18 Bq/m<sup>3</sup>. Instrumentet hade kontrollerats i SSI's radonkammare. Vi bedömer med detta som bakgrund att det sanna värdet på radondotterhalten under den tid som de filmbaserade detektorerna exponerades inte var över 25 Bq/m<sup>3</sup>. En av de sex detektorerna visade således riktigt



Figur 2.16 Frekvensfördelning av mätresultat från en grupp om sex detektorer baserade på film i kopp med filter exponerade tre månader i en bostad med  $< 25 \text{ Bq/m}^3$  radondöttrar under våren 1985 i samband med uppföljning av tidigare mätningar i nybyggda eller ombyggda hus.

värde, två angav 100 - 200% för högt värde ( $40 \text{ Bq/m}^3$ ) och återstående tre detektorer klart missvisande resultat. I ett nybyggt hus där man försökt motverka inflöde av markradon är värden  $> 50 \text{ Bq/m}^3$  tecken på inflöde av markradon och mätvärden på 100 -  $200 \text{ Bq/m}^3$  innebär att kravet i Svensk Byggnorm på maximalt  $70 \text{ Bq/m}^3$  inte uppfylls och att man bör överväga att vidta åtgärder mot inflödet. Denna oväntat stora osäkerhet i mätningarna har i hög grad begränsat våra möjligheter att dra slutsatser huruvida vidtagna åtgärder haft full och bestående effekt eller om det i en del hus förekommer ett visst inflöde av markradon. Trots benägen medverkan från leverantören har det inte varit möjligt att finna någon förklaring till denna oväntat stora spridning.

Vår slutsats av detta är att de detektorer som tillhandahållits och tillhandahålls kommersiellt i Sverige har mycket stor osäkerhet vad gäller kvantifiering av normala låga radonhalter med enstaka mätningar. Däremot synes de vara tillförlitliga när det gäller att påvisa klart förhöjda radonhalter, vilket ofta är av större betydelse vid hittills genomförda mätningar.

Inom projektet har även något tiotal hus blivit föremål för detaljerade undersökningar med omfattande mätutrustning. Dessa mätningar avsåg förutom noggranna momentanmätningar av radon och radondotterhalt även kontinuerlig registrering av radon och radondotterhalt. I vissa fall utfördes det senare i samband med simulering av tilltänkt ventilation, omställning av installerade fläktar mm för att renodla de fysikaliska processer varpå åtgärderna baseras. Samtidigt registrerades fysikaliska data som luftflöden, tryckdifferenser, temperaturer mm. Dessa detaljerade mätningar har bidragit till att verifiera vår bild av hur radon tränger in i hus och åtgärdernas funktion. Mätningar av denna typ blir dock mycket dyrbara, ungefär 6.000 kronor per gång och bostad plus resekostnader. Inom forskningsprogrammet gjordes dessa mätningar i vissa fall inklusive simulering av tilltänkta åtgärder. Detta gav ännu högre kostnader per bostad. Eftersom denna typ av mätningar kräver tillgång till omfattande utrustning

kan de aldrig förordas som normala rutinmätningar. Inom forskning och i hus där enkla mätningar ger svårtolkade eller motsägelsefulla resultat och i hus där vidtagna åtgärder inte givit förväntat resultat, kan dock mätningar av denna typ ge den information som behövs för att inflödet av radon skall kunna förklaras och lämplig åtgärd väljas eller detaljutformas.

Åtskilliga kontinuerliga mätningar av radondotterhaltens förändringar har utförts med instrument av typ WLM 300, som har visat sig noggrannt och tillförlitligt. Till mätcentralen för BFR's radonprojekt inköptes två exemplar av motsvarande instrument för samtidig registrering av såväl radon- som radondotterkoncentration. Ett stort arbete lades ner inom projektet i nära samarbete med leverantörens utvecklingsavdelning med syfte att få dessa instrument att fungera på utlovat sätt. Detta lyckades dock ej beträffande kvantitativ mätning av radon. Däremot framkom intressanta resultat rörande absoluta luftfuktighetens inverkan på detektorns känslighet. Dessa resultat presenterades vid konferensen Indoor Air i Stockholm /Schmied 84/.

#### 2.4.2 SP:s besiktningsmetodik och instrumentering vid kartläggning av markradon i hus

Statens provningsanstalt har utvecklat en metod för kartläggning av var markradon kommer in i bostaden. Metoden går ut på att samtidigt registrera följande parametrar:

- radonhalt
- radondotterhalt
- luftomsättning
- tryckskillnad över huset.

Mätningarna kan delas in i tre faser:

- Fas 1. Mätning vid normal ventilation.
- Fas 2. Mätning vid forcerad ventilation.
- Fas 3. Mätning vid provisorisk åtgärd.

Varje fas tar normalt 2-4 timmar att genomföra. Vid mätningarna hålls innerdörrarna stängda för att radon- och radondotterhalterna skall bli representativa för varje rum. Detta är inte intressant vid normala mätningar dvs när mätningar görs för att verifiera vilken radondotterhalt som bostaden har.

Denna metod har använts:

- vid forskningsmätningar.
- vid kartläggning av misslyckade åtgärder.
- av fastighetsägare, bostadsrättsföreningar och kommuner som önskat en noggrannare kartläggning av radoninflödet i bostäder.

Mätningarna vid normal ventilation har som syfte att registrera luftomsättningen, radon- och radondotterhalten i samtliga rum (mätningarna görs i regel endast i det lägst belägna planet i huset). Värdena varierar ofta ganska mycket och det kan vara svårt att göra jämförelser mellan olika rum. I pannrum t ex är det ofta låga radondotterhalter och hög luftomsättning. Värdena kan dock jämföras och bättre utvärderas om radon- och radondotterhalterna räknas om till ett förhållande där samtliga rum har en luftomsättning av 0,5 oms/h. Detta kan göras enligt formeln

$$X_s = \frac{h}{h_s} X$$

där  $X_s$  är beräknad radonhalt ( $\text{Bq/m}^3$ )  
 $X$  är mätt radonhalt ( $\text{Bq/m}^3$ )  
 $h_s$  är önskad luftomsättning (oms/h)  
 $h$  är mätt luftomsättning (oms/h)

Samma formel kan också användas för att räkna om radondotterhalterna. Formeln tar dock endast hänsyn till utspädnings effekter. En högre luftomsättning/luftförlust påverkar radondöttrarna, dock ej radonet. Det bör dock poängteras att de beräknade halterna är grova uppskattningar (gäller både radon och radondöttrar).

Ett exempel på hur radon- och radondotterhalten varierade i ett hus framgår av tabell 2.13. Mätvärdena är också omräknade till 0,5 oms/h.

Tabell 2.13

Uppmätt luftomsättning oms/h	Uppmätt radondotterhalt Bq/m <sup>3</sup>	Radondotterhalt vid 0,5 oms/h Bq/m <sup>3</sup>
0,68	87	118
0,61	48	58
0,66	47	62
0,24	335	161
4,5 *	37 *	333 *
0,32	255	163
0,43	305	262
0,33	278	183
0,21	339	142

\* mätpunkten var placerad i ett pannrum

Av tabellen ovan framgår att den uppmätta radondotterhalten var lägst i pannrummet medan den blev högst efter att mätvärdena räknats om. Samma förhållande var det för radon. Detta ger en indikation på att det kan vara i detta rum som det kommer in markradon och de fortsatta mätningarna kunde delvis inriktas där efter.

Nästa fas i mätningarna är att mäta radonhalt och luftomsättning vid forcerad ventilation. I regel mäts inte radondotterhalten beroende på att luftomsättningen blir mycket hög (>1,0 oms/h) och därmed blir det mycket låga radondotterhalter. Syftet med mätningen är att åstadkomma betydligt större undertryck inomhus än vid normal ventilation och på så vis suga upp mer markradon än vid normal ventilation. I de rum som inte får ett tillskott av markradon kommer radonhalten att sjunka ungefär proportionerligt mot den ökande luftomsättningen. Däremot kommer radonhalten inte att minska proportionerligt i de rum som får ett tillskott av markradon.

Radonhalten i huset som vi refererade till i tabell 2.13, var ungefär 700 Bq/m<sup>3</sup> i ett rum vid normal ventilation. Ungefär samma mätvärde mättes i rummet vid forcerad ventilation trots att luftomsättningen



ökade cirka tre gånger. I ett annat rum minskade radonhalten till ungefär hälften vid forcerad ventilation trots att luftomsättningen ökade drygt tre gånger. Även i detta rum kom det alltså in markradon.

Efter dessa mätningar är det oftast möjligt att peka ut i vilket eller vilka rum som markradon kommer in. Därefter kan golvet besiktigas i det aktuella utrymmet och oftast finns det någon golvbrunn, kabelgenomföring eller dylikt som är läckagestället. En provisorisk åtgärd görs genom att tejpa eller på annat sätt täta det misstänkta läckagestället. Radondhalten mäts därefter på nytt i de olika rummen under tillräckligt lång tid för att se om den provisoriska åtgärden hade någon effekt.

När det är klarlagt var radonläckaget finns kan ställning tas till vilken typ av åtgärd som skall göras. Vilken åtgärd som skall göras beror också på hur byggnadskonstruktionen ser ut. Ett hus är inte ett annat likt och många gånger har husägaren sådan information om huset som är betydelsefull för åtgärden. Ett exempel på detta var i ett hus i Skaraborgs län där vi var ganska säkra på i vilka rum som markradon kom in. Några synliga sprickor i bottenplattan eller något annat som kunde vara läckagestället upptäcktes dock inte. Husägaren uppgav då att det ganska ofta var jordbävningar i området vilket lett till att husgrunden fått många sprickor. Detta syntes på utsidan av huset men inte invändigt. Problemet löstes med hjälp av husägarens uppgifter och åtgärden anpassades därefter.

En förutsättning för att dessa mätningar skall lyckas är att de olika parametrarna registreras samtidigt. Resultaten kan då bedömmas allteftersom mätningarna fortskrider och ställning kan då tas till om något skall ändras i metodiken.

Statens provningsanstalt har också tagit fram en metod för bestämning av radondotterhalten i utrymmen där människor vistas under lång tid. Metoden är till för att spåra bostäder med förhöjda radondotterhalter.

En behållare fylld med aktivt kol och ett luftgenomsläppligt filter placeras i det rum där radondotterhalten skall mätas. Principen är att radongasen diffunderar in i behållaren och adsorberar på kolets yta. Mätningen sker under så lång tid (ca en vecka) att korttidsvariationer normalt utjämnas, medan långtidsvariationer måste beaktas. Både preparering av behållare och utvärdering sker på Statens provningsanstalt.

Resultaten från exponeringen i bostaden kan användas för uppskattning av radondotterhaltens årsmedelvärde. Vid denna uppskattning måste hänsyn tas bl a till vädringsoch klimatförhållanden under mätningen.

### 3. BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER I BEFINTLIGA HUS MED MARKRADON

Som framgått av föregående kapitel är det numera klarlagt, att markradon tränger in i hus praktiskt taget enbart genom konvektivt flöde av markluft in i huset genom otätheter i grundkonstruktionens anslutningsytor mot marken. Diffusion genom byggnadsmaterial eller genom olika öppna förbindelser mellan marken och byggnadens inre begränsas starkt av naturlagarna och saknar praktisk betydelse i hus med höga radonhalter.

Följande förutsättningar måste därför vara uppfyllda för att markradon skall kunna tränga in i huset:

- det måste finnas otätheter mellan husets inre och marken,
- lufttrycket inne i huset måste vara lägre än gastrycket i markens porer under huset,
- det måste finnas en sammanhängande gasvolym i marken under huset i direkt kontakt med tillräckligt mycket material för att detta materials radonavgivning skall kunna ge märkbar förhöjning av radonhalten i det flöde av luft som passerar huset.

Otätheter mellan husets inre och marken har ofta visat sig vara gjutskarvar, rör genomföringar, rensluckor för avloppsledningar, krympsprickor i betong, sättnings-sprickor och ursparingar i betongkonstruktionen.

Åtgärder mot inflöde av markradon kan utformas så att en eller flera av dessa förutsättningsr eliminerar.

I avsnitt 3.1 nedan visas att tätning av otätheterna mellan hus och mark är att föredra, bla därför att det kan innebära en både effektiv och mycket billig lösning på problemet och att det i princip är en passiv metod. I många fall är det dock omöjligt att hitta eller komma åt tillräckligt stor andel av den totala förekomsten av otätheter. I dessa fall har det visat sig effektivt att genom att suga upp markluft under bottenplattan/källargolvet upprätthålla ett lägre gastryck i markens porer under huset än inne i huset. Härigenom förhindras inflöde av markluft genom otätheter mellan hus och mark. Denna metod beskrivs i avsnitt 3.2.

Det är helt olämpligt att förhindra inflöde av markluft genom att öka lufttrycket inne i huset. Detta skulle leda till att varm, fuktig luft pressades ut genom otätheter i väggarna. När denna luft når väggarnas yttre delar kommer luftens relativa luftfuktighet att öka med risk för mögel, röta och även utkondensering av fritt vatten.

I vissa situationer kan man däremot förhindra inflöde av markradon genom att blåsa ner luft under betongplattan. Denna metod förstärker i princip uppflödet av



luft genom otätheter i grundkonstruktionen. Dess effekt mot inflöde av markradon är därför en effekt av att radonhalten i markluften omedelbart intill huset sänks kraftigt genom utspädning. Denna metod beskrivs närmare i avsnitt 3.3.

Ett alternativ till ovanstående metoder är ventilation av kryputrymme, avsnitt 3.4, och ventilation av uppreglat golv, avsnitt 3.5. Dessa metoder kan förhindra att uppströmmande radon blandas med luften i husets inre genom att radonflödet tas om hand och leds ut utan att komma in i bostadsutrymmena.

Ökad luftomsättning, avsnitt 3.6, kan vara ett lämpligt komplement i de fall då ovanstående metoder inte ger tillräckligt låg radonhalt eller i de fall då även husets byggnadsmaterial ger ett betydande bidrag till radonhalten. Generellt bör den ökade luftomsättningen åstadkommas på ett sätt som ger så litet undertryck inomhus som möjligt.

Teoretiskt kan man sänka radonhalten i marken närmast huset genom att ersätta kraftigt radonavgivande material i marken med andra fyllnadsmassor. Härigenom minskas den mängd radon som förs in i huset med det luftflöde som sker genom otätheter mellan hus och mark. Detta har visat sig vara en mycket dyrbar metod, bla vid utbyte av alunskifferaska intill ett antal villor i Ekedalen, Tidaholm /Clavensjö m fl 1982/ samt vid avlägsnande av avfall från uranutvinning, som utnyttjats bla som fyllnadsmassor utanför grundmurar och under bottenplattor i Grand Junction, Colorado /Ericson 81/.

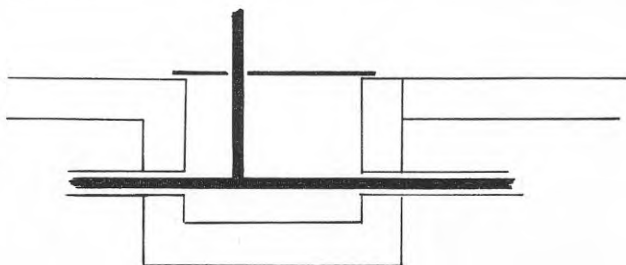
### 3.1 Tätning

Vid kommunal spårning fick man vintern 1982/83 fram mätvärden som indikerade problem med markradon på Sjukyrkoberget i Upplands Väsby. Även i hus helt utan alunskifferbaserad lättbetong fick man höga värden. Tre av dessa mätningar i radhus med betongstomme visade mellan 400 och 500 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar. Dessa radhus ingår i ett större radhusområde uppfört i början av 1970-talet. Flertalet av radhuslängorna är byggda med soutterängplan i sluttningen. Den bakre delen vilar ofta på plansprängt berg och den främre på sprängstensfyllnad. Bottenplatta, bjälklag, tak, lägenhetskyljande väggar samt motfyllda grundmurar utgörs av platsgjuten betong.

Husen var ursprungligen mycket täta och saknade såväl tilluftsdon som ventilationsanläggning. I praktiskt taget samtliga hus uppgavs att man haft problem med kondens på fönstrens insida. I 8 av de 19 hus som ingått i denna undersökning hade fastighetsägarna med anledning härav satt in tilluftsdon i fönsterkarmar el dyl och i något fall kompletterat med frånluftsfläkt i våtutrymme innan första radonmätningen ägde rum. Dessa åtgärder ledde till att kondensen på fönstren minskade eller upphörde helt.

Luftväxlingen i radhusen uppskattades vara ca 0.1 - 0.2 omsättningar per timme. Med normal radonavgång från betongstommen, uppskattad till  $10 \text{ Bq/m}^2\text{h}$ , och ca  $1 \text{ m}^2$  betongyta per  $\text{m}^3$  byggnadsvolym följer att radonavgången från byggnadsmaterialet förväntades ge ett bidrag till radonhalten inomhus med 50 - 100  $\text{Bq/m}^3$ .

Utgående spillvattenledning har en renslucka placerad under en durkplåtslucka i en låda i betongplattan. Vattenservicen är av polyeten och ligger placerad i ca 90 mm dräneringsledning under radhuslängorna. Serviceledningen passerar genom betonglådan med avloppsledningens renslucka och anslutningen till respektive radhus sker genom en avgrening som går upp genom en ursparing i durkplåtsluckan, figur 3.1. Denna konstruktion medförde en förbindelse mellan markens hålrum och radhusens inre.



Figur 3.1 Vattenservice placerad i dräneringsslang genom rensbrunn.

I 18 radhus mättes radonhalten under en månad på bågge våningplanen med TLD instrument från Statens Provvningsanstalt samtidigt som radonhalten under durkplåtsluckan mättes med film i kopp försedd med thoronfilter, Terradex M.

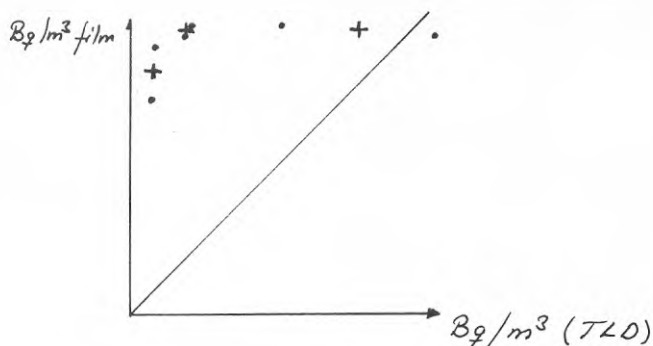
Resultatet av mätningarna har sammanställts i tabell 3.1. Radonhalten i luften under durkplåtsluckan uppmättes till i medeltal ca  $19 \text{ kBq/m}^3$  med variation från 7 till  $32 \text{ kBq/m}^3$ . Radonhalten i bostäderna uppmättes i medeltal till  $511 \text{ Bq/m}^3$ . På nedre våningsplanet uppmättes i medeltal  $584 \text{ Bq/m}^3$ . På övre våningsplanet var motsvarande värde  $438 \text{ Bq/m}^3$ .

För de tre hus som tidigare blivit föremål för mätning i kommunens regi presenteras resultatet i figur 3.2. Spridningen mellan samtida mätningar på olika våningsplan var förhållandevis liten, vilket förklaras av planlösning med öppen innertrappa. Mätningarna med TLD instrument verifierade i ett av husen att radondotterhalten var ca  $400 \text{ Bq/m}^3$ . För de två övriga husen visade dock TLD mätningarna betydligt lägre värden, ca 40 resp  $100 \text{ Bq/m}^3$ , vilket motsvarar att mätningarna med öppen spårfilm i dessa hus överskattat radondotterhalten med 4 a 5 resp ca 10 gånger.

	Radonhalt inomhus Bq/m <sup>3</sup>						Radon- halt under rens- lucka Bq/m <sup>3</sup>
	före tätning av rensbrunn			efter tätning			
fastig- het	nedre plan	övre plan	medel- värde	nedre plan	övre plan	medel- värde	
1	690 + 50	720 + 50	705	50 +30	80 +30	65	27 898
2	800 + 50	710 + 50	755	70 +30	60 +30	65	17 421
3	410 + 50	400 + 50	405	100 +30	50 +30	75	11 609
4	1600 +100	840 +100	1220	(697)	(429)	(563)	20 654
				160	199	180	
5	1200 +100	840 +100	1020	80 +30	90 +30	85	19 277
6	340 + 50	310 + 50	325	60	53	56	19 397
7	---	---		45 +30	70 +30	58	---
8	896 +224	392 + 98	644	60	53	56	18 541
9	320 + 80	365 + 90	342	83	54	68	23 224
10	182 + 45	204 + 51	193	230	89	160	14 889
11	573 +143	472 +113	522	56	<50	53	13 672
-----							
12	1037 +259	511 +127	774	130	83	106	28 560
13	1216 +304	986 +246	1101	156	181	168	25 159
14	130 + 30	150 + 30	140	60 +30	90 +30	75	16 882
15	202 + 50	183 + 45	192	53	85	69	32 495
16	490 + 50	470 + 50	480	---	---	--	11 331
17	---	---	---	70	53	62	19 541
18	194 + 48	75 + 18	134	<50	75	62	22 038
19	70 + 30	80 + 30	75	50 +30	(520 +50)	--	7 007
				60	60	60	
20	170 + 30	180 + 30	175	40 +30	60 +30	50	10 324
-----							
medelvärde	584	438	511	113	92	103	18900
dito utan bi- drag från byggn. mat. 70 Bq/m <sup>3</sup>	514	368	441	43	22	33	-

- 1) mätning med WLM300 visade 14-35 Bq/m<sup>3</sup> RnD  
 2) mätning med RDA200  
 3) mätning med WLM300 visade 28-81 Bq/m<sup>3</sup> RnD  
 4) mätning med WLM300 visade 31-47 Bq/m<sup>3</sup> RnD  
 5) mätning med WLM300 visade 35-70 Bq/m<sup>3</sup> RnD

Tabell 3.1 Sammanställning av mätresultat före och efter tätning av renslucka med inkommande vattenservice.

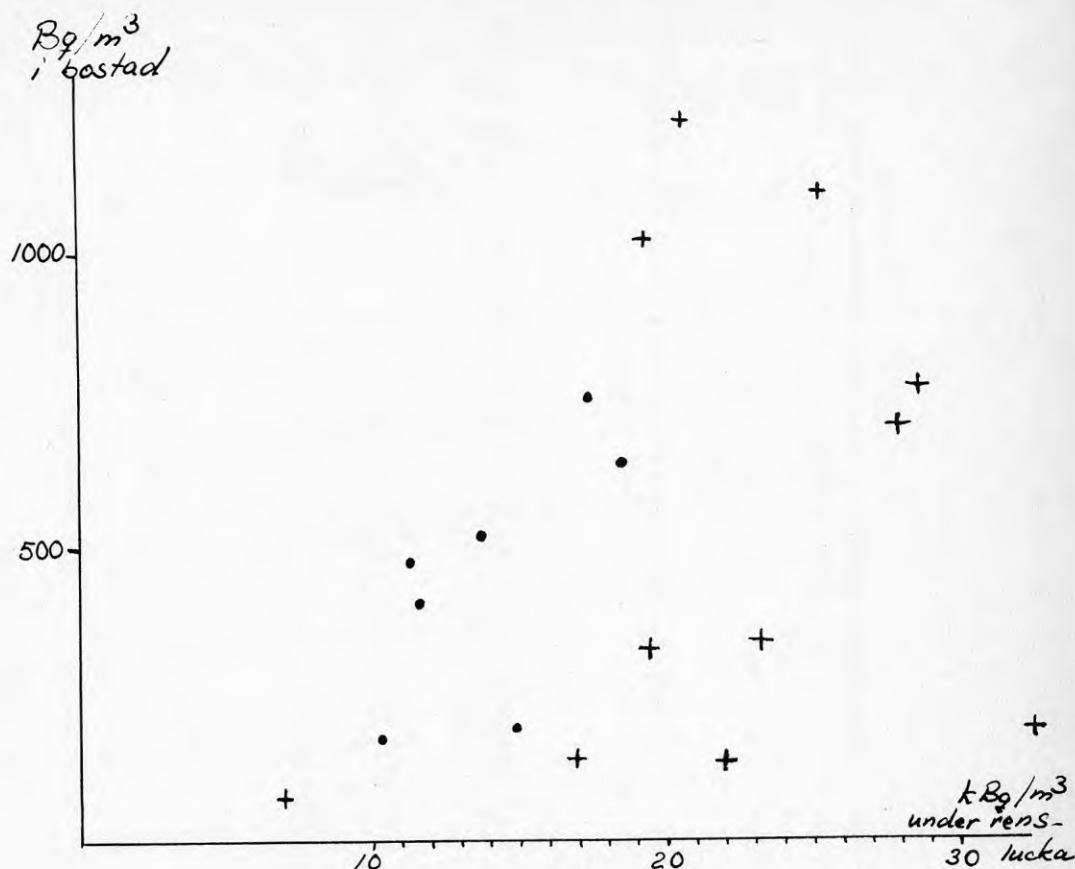


- 6 mätpunkter i tre radhus
- + medelvärde av mätning i två rum vardera i tre hus

Figur 3.2 Resultat av mätning i 6 rum i tre radhus. Resultat av kommunens spårning med öppen detektor (Terradex B) avsett mot resultat från mätning av radonhalt med TLD-instrument från Statens Provvningsanstalt omräknat till radondotterhalt under antagande av jämviktsfaktor  $F=0.5$ .

Om det antas att radonavgången från byggnadsmaterialen ger ca  $70 \text{ Bq/m}^3$  följer att infiltrationen från marken i medeltal svarar för resterande  $441 \text{ Bq/m}^3$ . Eftersom radonhalten i den infiltrerande markluften under durkplåtsluckan i medeltal var ca  $19 \text{ kBq/m}^3$  följer att markluften i medeltal utgjort 2.3% av det totala luftflödet genom bostaden och att varje del markluft följaktligen blivit utblandad med ca 40 delar radonfri utomhusluft som infiltrerat genom husets otätheter ovan mark. I figur 3.3 illustreras samhörande värden på radonhalt, medelvärde av mätning på två platser i huset, och radonhalt uppmätt under durkplåtsluckan. Av figuren framgår att infiltrationen av markluft tydligen varierar kraftigt från hus till hus trots att konstruktion och otäthet är till synes identisk. I vissa hus förefaller markens bidrag vara obetydligt medan det i andra är betydande. I de hus som har ca  $20 \text{ kBq/m}^3$  under durkplåtsluckan varierar radonhalten i bostaden mellan 120 och  $1200 \text{ Bq/m}^3$ . Det högre värdet motsvarar utspädning av markluften ca 15 gånger och att ca 6% av det totala luftflödet genom huset utgjordes av infiltrerande markluft. Anmärkningsvärt är att hus som försetts med tilluftdon el dyl, markerade med punkter i figuren, förefaller ha minst lika stort bidrag av markradon som de övriga husen, markerade med kryss. Detta betyder att i hus som kompletterats med ventiler utgör infiltrerande markluft minst lika stor andel av det totala luftflödet genom huset som i de andra husen utan ventiler.

I samtliga studerade radhus följdes vårt råd att så noggrant som möjligt täta vattenledningens införing samt durkplåtsluckan över avloppets renslucka. Betong-

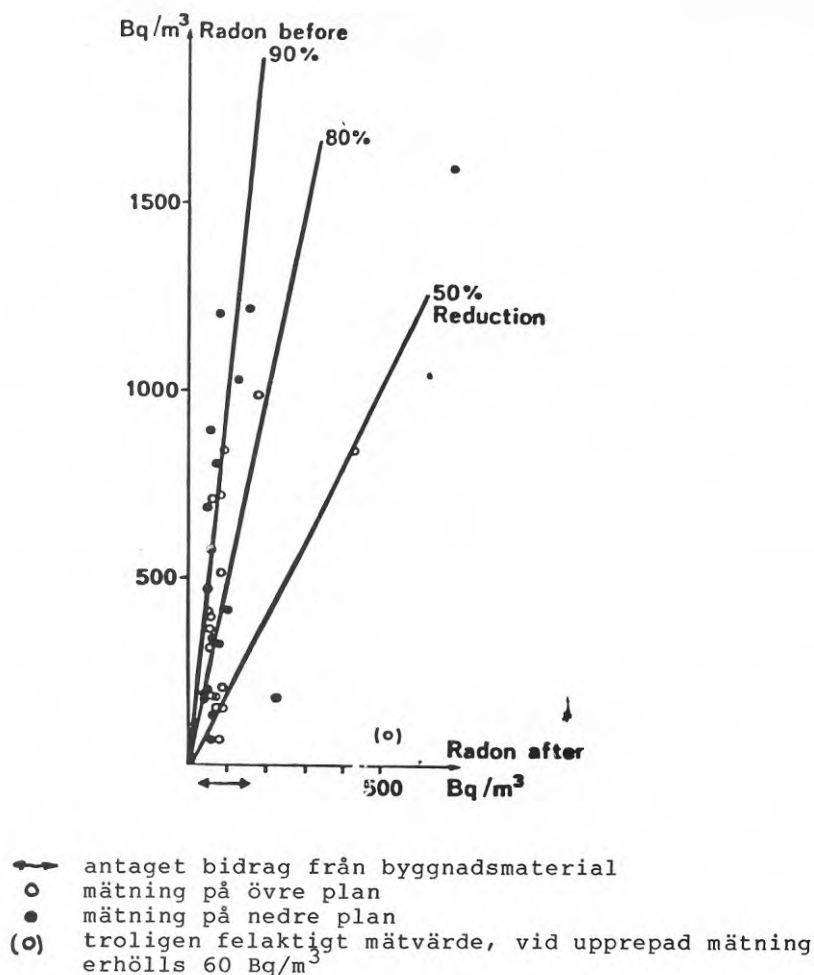


- mätningar i hus där ventiler (7hus) eller frånluftfläkt (1 hus) installerats före radonmätningen
- + mätningar i hus där ingen åtgärd vidtagits före radonmätningen

Figur 3.3 Samtidigt uppmätt radonhalt i bostaden och i rensbrunnen under rensluckan i 18 radhus.

ytorna under durkplåtsluckan ströks även med asfalt för att täta eventuella otätheter i gjutskarv mellan golvplattan och den underliggande delarna av betongkonstruktionen.

Resultatet blev mycket positivt och i princip eliminerades markens bidrag till radonhalten i inomhusluften. Medelvärdet av radonhalten i bostäderna var efter denna tätning ca  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Denna koncentration kan till helt övervägande del förklaras av radonavgången från byggnadsmaterial, betong. Resultatet presenteras även i figur 3.4, där mätvärden efter tätning avsatts mot



Figur 3.4 Mätvärden före och efter tätning vid inkommande vattenledning i 18 radhus.

motsvarande före tätningen. Ett fåtal mätvärden avviker från denna allmänna bild. I hus 18 uppmättes på övervåningen 520 Bq/m<sup>3</sup> efter tätning. När mätningarna upprepades i detta hus visade TLD-instrumenten 60 Bq/m<sup>3</sup> i bägge våningsplanen och senare kontroll med WLM300 visade en variation mellan 35 och 70 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar. I hus 4, som före tätningen hade den allra högsta radonhalten, tyder mätningarna på en viss kvarvarande otäthet mot marken. Detta har verifierats genom punktmätningar med RDA200, som tydde på att ca 150 - 200 Bq/m<sup>3</sup> återstod efter tätningen. Efterföljande kontroll med WLM300 skedde även i hus 3, 11 och 15. I dessa fall verifierades effekten av tätningsåtgärderna. Mätningarna visade 14-35, 28-81 resp 31-47 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar.



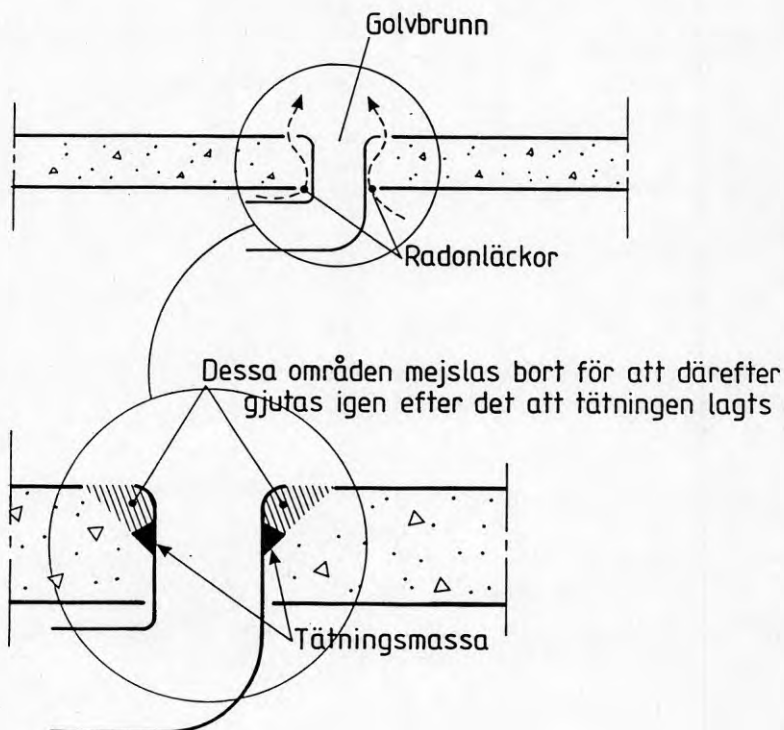
Materialkostnaderna för denna tätning begränsade sig till något hundratal kronor per radhus. Till detta kommer några arbetstimmar.

I medeltal minskade radonhalten med  $400 \text{ Bq/m}^3$  i de studerade radhusen. Under antagande av

- tre boende per hus,
- effektiv dosekvivalent  $0.06 \text{ mSv/Bq} \cdot \text{m}^{-3} \text{ RnD}$  samt
- 5 års beständighet hos åtgärden

får man en dosreduktion i denna husgrupp om  $0.9 \text{ manSv/år}$ . Härav följer att kostnaderna motsvarar ca 1.000 kronor per mansievert ( $\text{manSv}$ ). Detta motsvarar i sin tur ca 50.000 kronor per dödsfall i lungcancer som kan förutsättas undvikas genom åtgärden.

Resultatet torde kunna ses som illustration av att en modern betongkonstruktion i allmänhet ger tillräckligt motstånd mot inflöde av markradon om man bara undviker uppenbara otätheter.



Figur 3.5 Tätning av otätheter intill golvvbrunn i pannrum.



Det är dock mer ett undantag än en regel att man kan eliminera inflöde av markradon genom att tätta en åtkomlig otäthet. Ofta kan man varken identifiera eller komma åt att tätta de otätheter som tillsammans ger inflöde av markradon. Genom noggranna mätningar, bland med kontinuerliga instrument, där koncentrationens tillväxt följs efter fullständig utvädring har vi i några fall lyckats få indikationer på i vilken del av huset ellet i vilket rum som inflödet huvudsakligen sker. I ett fall kunde vi visa att det huvudsakliga kvarvarande inflödet skedde till ett sovrum i källaren. I ett annat fall tydde mycket höga koncentrationer i slaskskåpet i köket i ett enplanshus utan källare på att underliggande rör genomföringar orsakade inflödet av markradon. I ytterligare ett fall föreföll den huvudsakliga källan vara i pannrummet. I detta fall föreföll det vara uppenbara otätheter i betonggolvet intill golvbrunnen. Dessa högs upp, tätades, figur 3.5. Den förväntade effekten uteblev dock till stor del i detta fall. Detta tolkar vi som att det fanns ytterligare otätheter i pannrummet. Dessa kunde dock inte påvisas men resulterade i fortsatt mycket hög radonhalt i pannrummet även efter tätning kring golvbrunnen. I ytterligare ett fall ströks ett par motfyllda källarväggar med emulsion av gummi-asfalt. Syftet var i detta fall att stoppa ett kvarvarande inflöde av markradon i ett hus som tidigare utrustats med undertryckshållning under källargolvet. Det blev inte heller i detta fall någon mätbar effekt av tätningsåtgärden.

### 3.2 Undertrycksventilering av kapillärbrytande lager - golvsug

Av vad tidigare framkommit är den bästa åtgärden mot markradon att tillse att det inte får tillträde till husen. Detta kan göras t ex genom tätning, som är en passiv åtgärd, men det finns också aktiva åtgärder. Undertrycksventilering av underliggande marklager under betongplattan i ett hus är en sådan och benämns i denna rapport golvsug.

Golvsugens idé är att upprätthålla en tryckskillnad över betonggolvet som motverkar det undertryck som skorstenseffekten ger i huset. Därmed förhindras eller begränsas uppflödet av radonhaltig markluft.

För att uppnå denna effekt behövs kännedom om de fysikaliska förutsättningarna.

Tänker man sig en begränsningsyta, som i detta fall är ett betonggolv, i vilken man gör ett hål centralt varur man med hjälp av en fläkt och ett kanalsystem suger upp markluft.

Suger man på en punkt i golvet, måste undertrycket som skall förhindra uppflödet av markluft sprida sig tillräckligt från sugstället.

De parametrar som styr detta är:

- 1) Markens luftgenomsläpplighet (permeabilitet) som beror av kornstorleksfördelning, jordart, fukthalt m m
- 2) Strömningsslag - laminär eller turbulent strömning
- 3) Strömningsbild - hur flödet fördelar undertrycket

En golvsugsinstallation består av två system som skall samverka. Ett i marken, som består av sugstället och materialet under betongplattan, (kapillärbrytande skikt, jord, grus eller sten och till sist berg och grundvatten). Och ett över mark, som består av fläkt och kanaler, vilka skall skapa och fördela tryck och flöde på ett tyst och optimalt sätt.

#### 3.2.1 Teori för strömning i mark

##### 3.2.1.1 Darcy's lag

För laminär och inkompressibel strömning i mark gäller Darcy's lag. Dess tillämplighet är bäst för Reynolds tal mellan 1 och 10.

/Bear 79/,/Reinus 55/,/Massey 75/.

$$V = K \cdot I \text{ eller } I = \frac{1}{K} V$$

där

$V$  = bruttohastigheten (m/s)  
 $K$  = genomsläpplighetstal (m/s)  
 $I$  = tryckfallsgradienten (Pa)

$$K = k \cdot \frac{g}{v}$$

där

$g$  = tyngdacc (m/s<sup>2</sup>)  
 $v$  = kinematisk viskositet (m<sup>2</sup>/s)  
 $k$  = permeabiliteten (m<sup>2</sup>)

För permeabiliteten ( $k$ ) finns ett antal uttryck, bl a några helt empiriska /1/ som

$$k = c \cdot d_{10}^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

där

$c$  = konstant som ligger mellan  $(4,5 - 14) \times 10^{-3}$  för sand med olika lerinnehåll; det högsta värdet gäller ren sand.

$d_{10}$  = kornstorlek i ram motsvarande maskvidden hos en sikt som släpper igenom 10 viktprocent av materialet.

### 3.2.1.2 Strömningsmodeller

#### Tryckfördelning halvsfärisk strömningsbild

Allmänt gäller för tryckfallet.

$$\Delta P = k_1 V^{k_2}$$

$$V = q/A, A = 2\pi r^2$$

där konstanterna

$k_1$  är beroende av strömningsmotståndet och  
 $k_2$  av strömningssätt (laminär och/eller turbulent)

$$k_2 = 1$$

$$k_2 = 2$$

$$\Delta P = k_1 \left( \frac{q}{2\pi r^2} \right)^{k_2}$$

Detta uttryck går lätt att integrera, se fig 3.2.1.

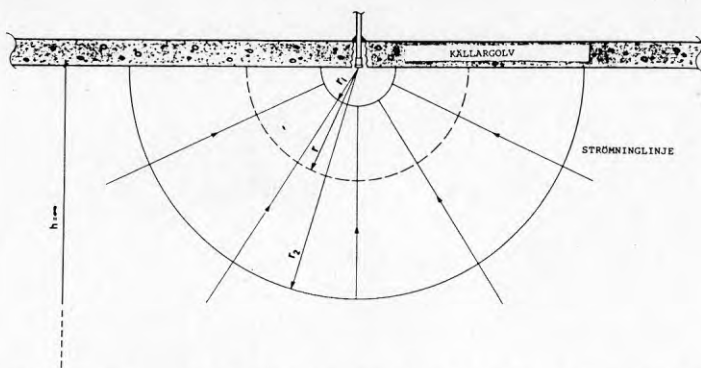


Fig 3.2.1 Halvsfärisk strömning integrations gränser

Integralen ger summan av tryckfallet från punkten man suger till den radie där atmosfärstryck råder.

$$\sum \Delta P_{S_r} = \int_{r_1}^{r_2} k_1 \left( \frac{q}{2\pi r^2} \right)^{k_2} dr =$$

$$k_1 \left( \frac{q}{2\pi} \right)^{k_2} \frac{r_1^{1-2k_2} - r_2^{1-2k_2}}{1-2k_2} \Big|_{r_1}^{r_2} =$$

$$k_1 \left( \frac{q}{2\pi} \right)^{k_2} \frac{1}{1-2k_2} (r_1^{1-2k_2} - r_2^{1-2k_2})$$

och då  $k_2 = 1$  och  $r_2 \rightarrow \infty$  blir summa tryckfall

$$\sum \Delta P = k_1 \left( \frac{q}{2\pi} \right) \frac{1}{r_1}$$

Av ovanstående uttryck ser man att det, förutom flödet  $Q$  och markens genomsläpplighet  $k_1$  (genomsläppligheten antas konstant), är initialradien  $r_1$  som påverkar tryckfallet i marken.

Flödet  $Q$  och genomsläppligheten  $k_1$  är proportionella mot tryckfallet  $\Delta P$  då  $k_2 = 1$ .

Däremot är initialradien  $r_1$  omvänt proportionell mot tryckfallet  $\Delta P$ .

Detta innebär att en liten initialradie ger ett stort motstånd och en stor initialradie mindre motstånd, se figur 3.2.2.

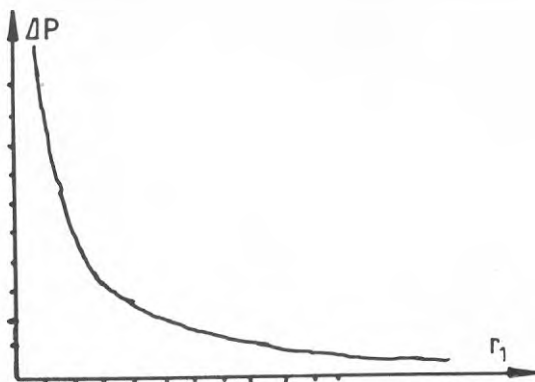


Fig 3.2.2 Tryckfallet i marken  $\Delta P$  som funktion av initialradien  $r_1$ .

Det relativa motståndet vid  $r_1$  0,1 m är tre gånger så stort som vid 0,3 m och 10 gånger så stort som vid 1,0 m.

Detta innebär att initialradien där man suger har en avgörande betydelse på resultatet. Det är naturligt då man tänker sig en konstant luftmängd som skall passera en yta som blir mindre (sfäriska skal). Detta har ännu större betydelse då  $k_2 > 1$ , dvs övergång till turbulent strömning.

Av detta exempel ser man att de viktigaste parametrarna är markens luftgenomsläpplighet  $k_1$  och initialradien  $r_1$ . Vet man dessa, kan man uppskatta totaltryckfallet  $\Delta P$  vid olika flöden  $Q$  samt tryckfallets utbredning.

Ovanstående väldigt förenklade modell ger de huvudsakliga parametrarna. Under ett hus kan det dock finnas begränsande skikt som t ex berg och/eller grundvatten och/eller tät jordart, som förhindrar luftströmmens utbredning, varvid strömningsbilden blir förändrad. Dessutom är permeabiliteten inte konstant som antagits.

Om man tar hänsyn till ett begränsande skikt får vi en ny modell.

#### Tryckfördelning "halvsfärisk"/cylindrisk strömningsbild

Om man har två begränsningsytor - den ena = husets betongplatta, den andra = t ex grundvattenytan - kommer strömningsbilden först att vara halvsfärisk och sedan övergå till cylindrisk.

Hur nära får begränsningsytan komma innan den stör och hur stör den?

Hur långt från sugstället erhåller man ett tillräckligt undertryck i marken minst lika starkt som skorstenseffekten och upprätthåller en tryckgradient med lägre tryck över än under golvet?

För att åskådliggöra en begränsningsytas påverkan på strömbilden i en modell används en matematisk teknik där sugstället (den fiktiva punktkällan) speglas i spegelplan, varefter man summerar de imaginära spegelbilderna. Ju fler imaginära spegelbilder man lägger till desto mindre blir felet i modellen.

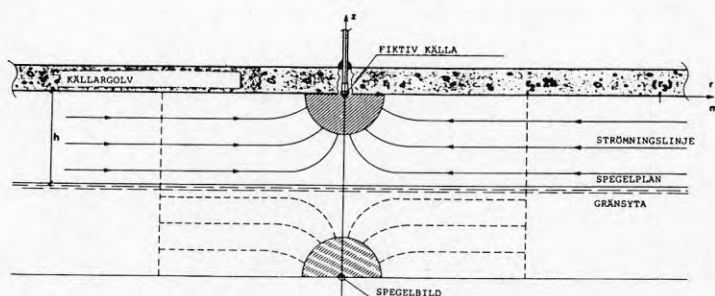


Fig 3.2.3 Matematisk modell där en fiktiv punktkälla speglas i ett antal spegelplan för att erhålla strömningslinjernas väg vid punktkällan.

Endast tryckdifferenser mellan initialradien  $r_1$  och  $r_2$  ca  $(2 \times h)$  är av intresse. Utanför  $r_2$  är strömningen cylindrisk.

Man kan då ställa upp följande samband:

$$r_1 \rightarrow r_2: \Delta P_{\Sigma} = \frac{k_1 Q}{2\pi} \left( S_0 + 2 \sum_{n=1}^m S_n \right)$$

$$S_n = \frac{1}{\sqrt{r_1^2 + 4n^2 h^2}} - \frac{1}{\sqrt{r_2^2 + 4n^2 h^2}}$$

$$r_2 \rightarrow r_3: \Delta P_{ln} = \frac{k_1 Q}{2\pi h} \ln \frac{r_3}{r_2}$$

$$r_1 \rightarrow r_3: \sum \Delta P = \Delta P_{\Sigma} + \Delta P_{ln}$$

Då tryckfallet på grund av sista termen går mot oändligheten, då  $r_3$  går mot oändligheten, får man begränsa utbredningen till en lämplig sträcka.

Det visar sig att lämpliga ingångsvärden är

$$r_2 = 2 \text{ h}; m = 5; (r_3 = 50 \text{ m})$$

då blir

$$\sum \Delta P = \frac{k_1 Q}{2\pi} M$$

$$M = \left[ (S_0 + 2 \sum_{n=1}^5 S_n) + \frac{2}{r_2} \ln \frac{r_3}{r_2} \right] \pm 0,05$$

där M är formfaktor i marken.

För att exemplifiera vad detta innebär visas i fig 3.2.4 M för  $r_1 = 0,1; 0,2; 0,3$  och  $h = 0,5; 1,0; 5;$  (m).

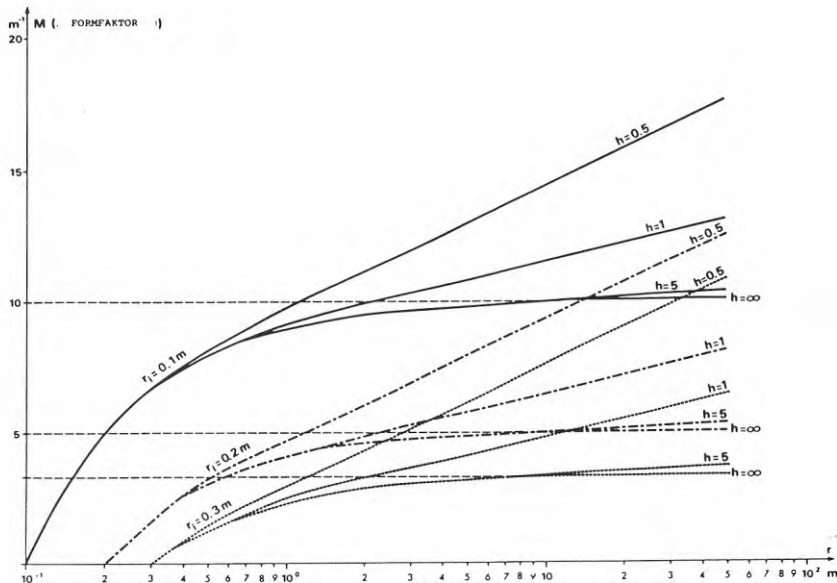


Fig 3.2.4 Formfaktorn M som funktion av initialradien  $r_1$  och avståndet  $h$  till ett begränsande skikt



$$\frac{S \times g}{k}$$

där  $k$  = permeabiliteten

varför det slutliga uttrycket blir:

$$\boxed{\sum \Delta P = \frac{x \cdot q \cdot x \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot k} \times M}$$

där  $M = f(r_i, h)$

$$k = f(d_{10}^2)$$

då  $h$  och  $d_{10}^2$  är känt erhålles förhållandet mellan  $\sum \Delta P$  och  $Q$  för olika initialradier ( $r_i$ ), varur man kan avgöra vilket tryck och flöde som behövs för att erhålla en lämplig tryckutbredning under golvet.

### 3.2.2 Golvsugens konstruktion

Tidigare har framkommit att en golvsugsinstallation består av två system - ett i marken och ett i huset. Det sistnämnda måste sammarbeta med den första för att man skall erhålla ett fungerande system.

Här är några krav som bör uppfyllas av systemet i huset.

- # anpassat till marksystemet
- # tyst både inomhus och utomhus
- # billigt
- # lätt att installera
- # inga specialkomponenter
- # självreglerande inom vissa gränser
- # skall ej störa huskonstruktionen
- # tätt (markradonet får inte komma in i huset via installationen).

AIB har tagit fram ett system som uppfyller de krav som ovan ställts upp, se figur 3.2.5.

Beräkningar med ovanstående modell av systemet i mark visar att då:

$$\text{initialradien } r_1 = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{hydrauliska konduktiviteten } k = 10^{-3} \text{ m/s}$$

och inget påverkande begränsande skikt, man med ett undertryck av 100 Pa vid sugstället har ca 10 Pa kvar på en radie av 5 m, se figur 3.2.5. Detta motsvarar ungefär det undertryck som skorstensverkan åstadkommer i huset, varför inflödet stoppas på en radie av 5 m samt begränsas utanför denna.

Ökar man undertrycket 10 gånger, fördubblas verkningssradien, varför en ökning av undertrycket inte är realistisk. Man bör istället öka initialradien  $r_1$ . Detta betyder att man tryckmässigt utan hänsyn till flödet behöver en fläkt som klarar åtminstone 300 Pa. Den luftmängd man får ut är beroende på tryckfallet i marken och kanalsystemet.

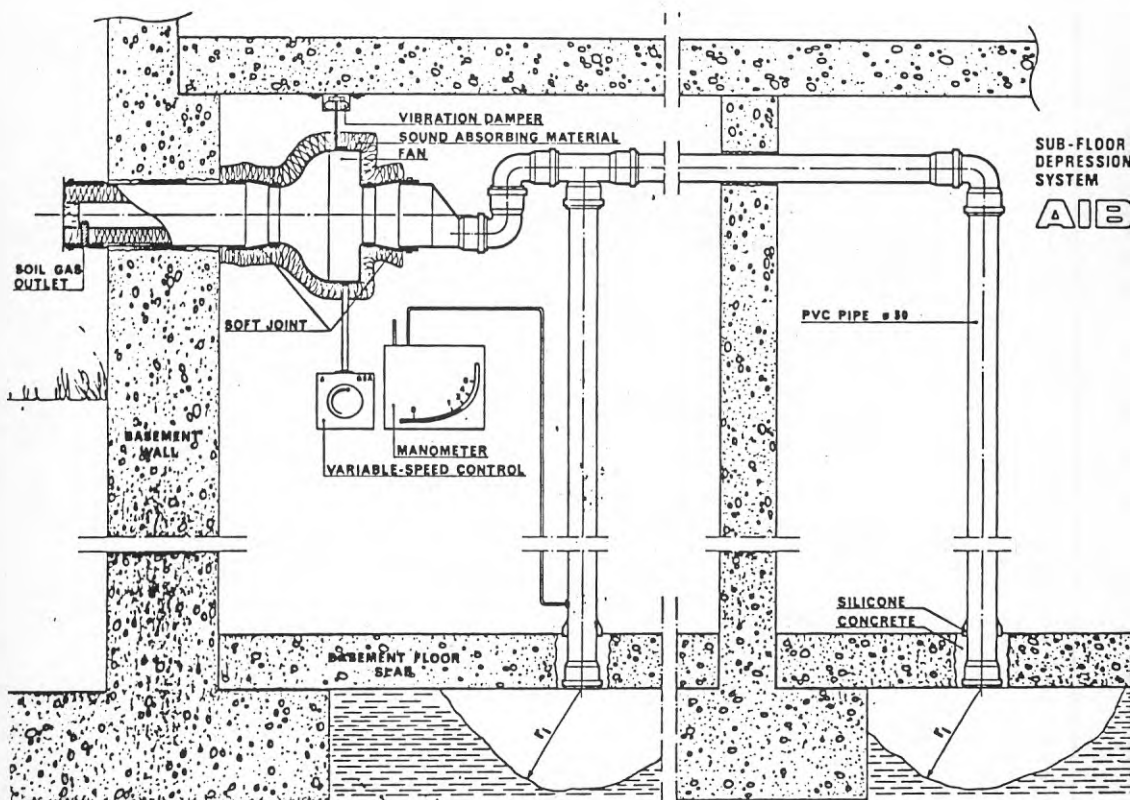


Fig 3.2.5 Golvsgugens konstruktion

Kanalsystemet bör vara uppbyggt på ett sådant sätt att luftflödet begränsas vid varje ny sugpunkt så att man inte äventyrar husets grundkonstruktion med lokal avkylning med eventuella tjälskador som följd. Detta medför att man bör dra klena dimensioner, vilka dessutom är lätta att installera.

Då man mestadels behöver mer än en sugpunkt, inte bara med hänsyn till verkningsradien utan till grundmurarnas och väggförstärkningarnas avgränsningar, måste samlingskanalen kunna transportera luftmängden från varje sugpunkt utan att för den skull ta allt för stort tryckfall i anspråk.

Då man normalt räknar med att suga upp ca 20 - 30 m<sup>3</sup>/h per sugpunkt och antalet sugpunkter mestadels begränsas till 5 st per hus, får man följande dimensioner:

Sugpunktskanaler	ø50
Samlingskanalen	ø75

Det ger ett tryckfall på ca 100 Pa i en normalvilla räknat med 10 m av vardera kanalslaget.

Den klena dimensionen begränsar samtidigt flödet ifall marken har för "långt" motstånd.

För att uppfylla täthetskravet för kanalerna faller valet lätt på plastkanaler; samtidigt har dessa en temperaturisolerande effekt, vilket innebär att man ej behöver riskera att få kondensutfällning.

Vanliga PVC-avloppsrör med gummiringsfog passar utmärkt som kanaler.

För att undvika stomljud från fläkten hängs den upp i en elastisk upphängning och anslutes till kanalen med mjukstosar. För att erhålla enklast möjliga anslutning till fläkt kan man före fläkten gå upp till PVC-kanaldimension ø160 vilken passar till fläktar men samma dimension. Standardkopplingar kan då också användas.

#### Eventuella felkällor

- 1) Genomföringar i betongplattan måste vara täta.

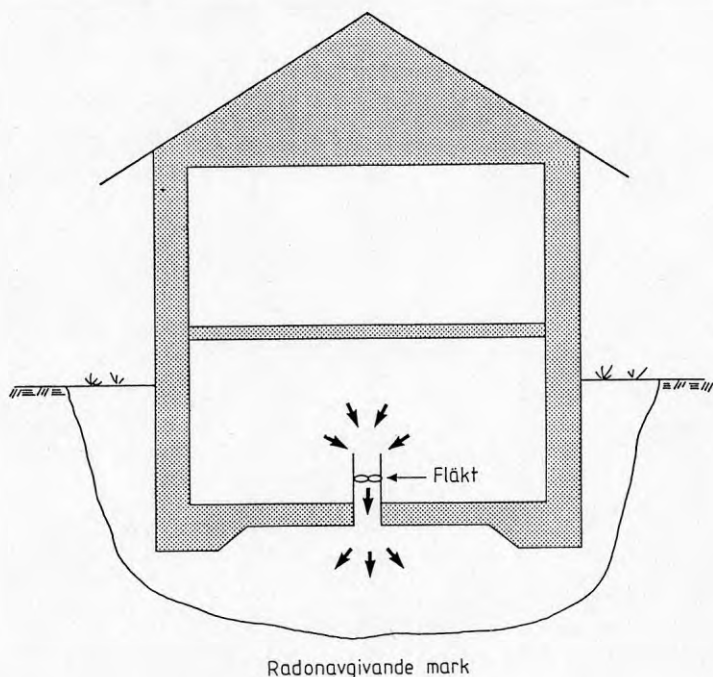
Om rör genomföringen inte är tät, kan inneluften sugas ner lokalt, vilket medför att undertrycket inte sprids i marken och att undertrycket i huset ökar varvid radoninflödet från marken t o m kan öka!

- 2) Då man suger upp markluft med hög radonhalt bör man helst placera fläkten utanför huset. Placeras den inomhus bör trycksidan vara så kort som möjligt och helt tät annars kan markradon tryckas in i huset, med förhöjd radonhalt som följd.
- 3) Ett sugställe kan vara olyckligt placerat på grund av att det t ex ligger en stor sten ivägen eller något annat som begränsar tryckutbredningen under huset.
- 4) Många golvsugar installeras med tyristorreglering för att man skall kunna reglera undertrycket. I några fall har husägaren ställt tyristorn på min, i tron att golvsugen fungerar lika bra. Detta är inte fallet varför man bör undvika att installera tyristorer. De medför dessutom att ljudnivån ökar då de avhuggna pulserna ger ett morrande ljud på 50 Hz.

## 3.3

Övertryck under betongplattan

Vi har i avsnittet 3.2 beskrivit hur höga radonhalter kan åtgärdas med undertrycksventilering i grunden. Principen för övertrycksventilering är i stort sett samma som för undertrycksventilering. Se figur 3.3.1.



Figur 3.3.1 Principskiss på övertrycksventilering.

Metoden går ut på att blåsa ner inneluft under bottenplattan och på detta sätt späda ut radonhalten. För att detta skall lyckas krävs att materialet under bottenplattan är luftgenomsläppligt och homogent dvs metoden torde fungera i makadam och lättklinker men inte i tät sand eller lera. Om inte materialet är genomsläppligt finns risken att endast en begränsad del ventileras. Det kan också i de fall som förstärkningsbalkar finns mitt i huset, vara nödvändigt att montera fläktar på båda sidor av förstärkningsbalken.

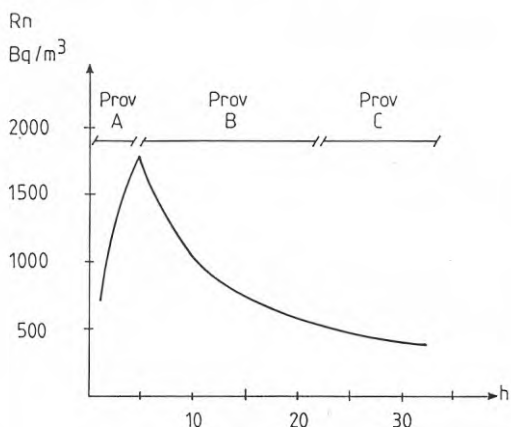
Denna metod är relativt ny vilket gör att det inte finns speciellt många åtgärdade hus att följa upp. Tyréns i Sundbyberg har gjort försök med övertryck under betongplattan i några hus. Ett hus följdes mer noggrant och radondotterhalten sänktes från drygt  $1750 \text{ Bq/m}^3$  före åtgärd till under  $50 \text{ Bq/m}^3$  efter åtgärd. Radondotterhalten har hållit sig kvar på denna nivå efter åtgärden. I avsnitt 7.3 ger Tyrén sina egna synpunkter på metoden.

I ett bostadsområde i en större tätort i Västergötland uppmättes höga radondotterhalter med spårfilm i tre flerbostadshus som var byggda av lättbetong. Det var dock endast några lägenheter som hade förhöjda halter (ca  $650 \text{ Bq/m}^3$ ) och detta verkade besynnerligt. Var det felaktiga mätningar eller vad var orsaken till skillnaderna? Lägenheterna var byggda av samma material och hade ungefär samma luftomsättning.

Bostadsbolaget gjorde därför nya mätningar med filtermetoden enligt Kusnetz. Denna mätning gav också höga värden i några lägenheter. Samtliga lägenheter som hade höga radondotterhalter var på första bostadsplanet. Eftersom byggnaderna inte hade källare tolkades resultaten som att dessa lägenheter fick ett tillskott av markradon.

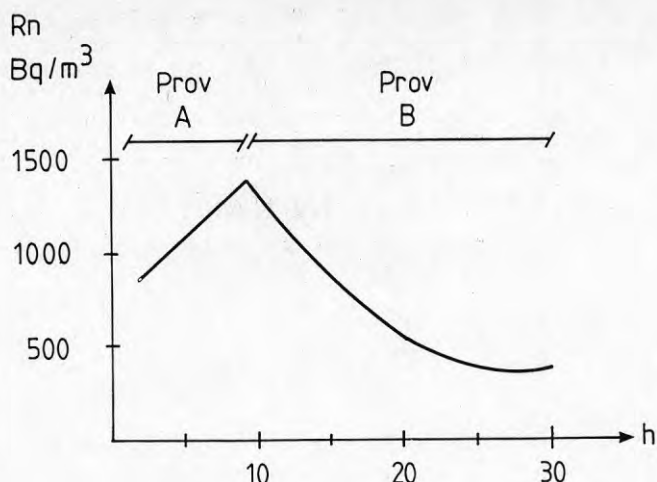
Åtgärden blev att blåsa ner inneluft under bottenplattan. Radondotterhalten mättes åter med filtermetoden enligt Kusnetz. Denna gång gjordes endast mätningar i lägenheterna som var i nedersta bostadsplanet. Radondotterhalterna blev mycket låga, under  $100 \text{ Bq/m}^3$ , vilket var något lägre än de lägenheter som från början hade låga värden. Åtgärden hade avsedd effekt och antagandet om att lägenheterna fick ett tillskott av markradon hade varit riktigt.

I ett souterränghus i Sollentuna som ligger på slutningen av en grusås rätt nära toppen, har försök gjorts med att både över- och undertrycksventilera under bottenplattan. Grusåsens mäktighet under huset ner till grundvattenytan är ca 20 m. Grusåsen är mycket genomsläpplig för luft. Resultaten framgår av figurerna 3.3.2 och 3.3.3.



Figur 3.3.2 Mätresultat med undertryck under bottenplattan. Prov A = avstängda fläktar. Prov B = fläktar igång, inställning 10 mm  $\text{H}_2\text{O}$ . Prov C = som B men med fläktar på max, 16 mm  $\text{H}_2\text{O}$ .





Figur 3.3.3 Mätresultat med övertryck under bottenplattan. Prov A = avstängda fläktar. Prov B = fläktar igång 10 mm H<sub>2</sub>O.

Resultaten visar att det blev lägre radonhalter i bostaden när det var övertryck under bottenplattan i förhållande till bostaden. När detta försök gjordes blåste det dock hård vind ute vilket sannolikt påverkat radonhalten i bostaden. Radonhalten hade därför troligtvis blivit ungefär lika hög i bostaden om det varit likvärdiga förhållanden utomhus vid försöken. Ingen metod verkar därför bättre än den andra med dessa resultat som grund.

Metoden är något svår att bedöma eftersom få hus har åtgärdats och följts upp. Radondotterhalterna har dock sänkts avsevärt i de hus som metoden har provats. En positiv bieffekt är att om varm inneluft blåses ner under betongplattan så blir det torrare än tidigare (Tyréns har mätt upp 100 % relativ luftfuktighet före åtgärd och 60 % relativ luftfuktighet efter åtgärd). Det finns dock en teoretisk risk för omfördelning av fukt från golvets centrala delar till ytterkanterna där det är kallare. Dessa fuktaspekter berör inte radonproblematiken men det kan vara värdefullt att känna till dem.

Med denna metod ändras tryckförhållandena i marken vilket också gäller när man suger luft. Detta har också B. Clavensjö på Bjerking's Ingenjörbyrå m fl påvisat i en grusås i Valbo utanför Gävle där trycket i grusåsen påverkades upp till 60 m från sugstället (resultaten från Clavensjö's mätningar kommer att redovisas i en BFR-rapport). Ett hus som är beläget nära ett åtgärdat hus påverkas därför troligtvis också på så sätt att det kan bli högre lufttryck i marken under huset än tidigare. Finns det läckageställen i bottenplattan ökar därför inflödet av



markradon vilket leder till högre radondotterhalter inomhus. Detta under förutsättning att radonhalten i marken är oförändrad. Metoden kan därför vara olämplig i radhus, kedjehus och parhus. Å andra sidan kan man spekulera i att där lufttrycket ökar i marken kommer även radonhalten att minska genom den utspädning som sker genom ventilationen i marken vilket skulle motverka effekten av ökat inflöde. Då skulle möjligtvis inte ett ökat intag av markluft spela någon roll. Dessa frågor är som synes obesvarade och för att få svar på frågorna behövs ytterligare forskning.

### 3.4 Ventilering av kryppgrund och varmgrund

Höga radondotterhalter i hus med kryppgrund är inte vanligt men det förekommer. I de fall där bjälklaget mot kryppgrunden är av betong, gäller nästan enbart hyreshus, finns i regel inga problem med radon från kryppgrunden. Däremot har mycket höga radonhalter mätts upp i hus som har träbjälklag. Dessa är otäta och stora luftflöden kan genom konvektion transporteras från kryppgrunden till bostaden.

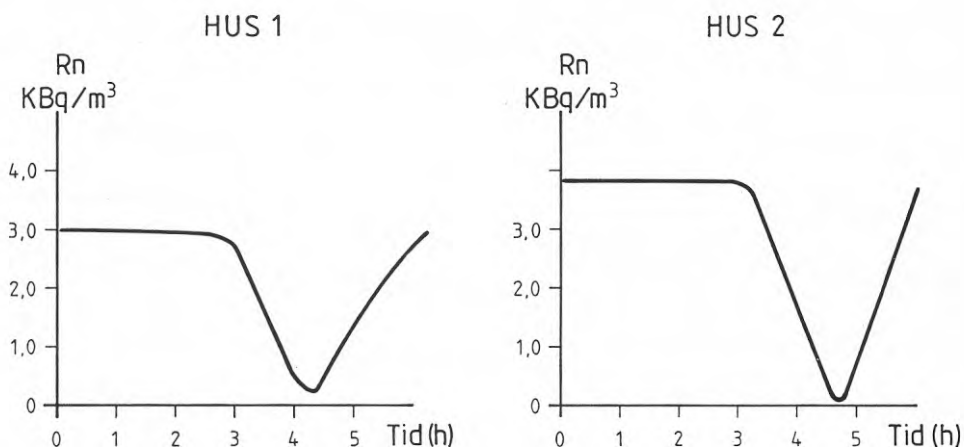
I en del fall har husägarna i energibesparingssyfte tätat ventilationsöppningarna till kryppgrunden. Därigenom minskas luftomsättningen i kryppgrunden avsevärt och det kan bli höga radonhalter. Första åtgärden i dessa hus blir att öppna ventilationsöppningarna igen och sedan mäta radondotterhalten inomhus. Ibland räcker denna åtgärd men det finns även många hus som åtgärden inte har fungerat i. I dessa hus måste mer aktiva åtgärder göras.

Det vanligaste sättet att minska radonhalten i en kryppgrund är att mekaniskt ventilerat utrymme. Avsikten är att ändra tryckförhållandena och späda ut radonhalten i krypputrymme med uteluft. Ju lägre radonhalt i krypputrymme desto lägre radondotterhalt i bostaden.

I fem hus har försök gjorts att med ökad ventilation skapa över- respektive undertryck i kryppgrunden i förhållande till bostaden för att därigenom kunna minska radondotterhalten i bostaden. Husen hade inget byggnadsmaterial som var radonavgivande.

Över- och undertrycken skapades med hjälp av fläktar som monterades i ventilationsöppningar i kryppgrunden. Övriga öppningar tätades för att maximalt övereller undertryck skulle erhållas. Vid dessa försök var det 3-5 Pa under- eller övertryck i kryppgrunden i förhållande till bostaden. Normalt, dvs utan mekanisk ventilation, är det någon Pa övertryck i kryppgrunden i förhållande till bostaden. Däremot är det oftast ett undertryck i kryppgrunden i förhållande till atmosfären och därmed marken. Detta gör att radon från marken kan sugas in i kryppgrunden och bostaden via otätheter i golvkonstruktionen. Mätresultaten från två av husen framgår av figur 3.4.1.

Mätningarna visar entydigt att radonhalten sjönk till mycket låga halter i kryppgrunden när det var övertryck i kryppgrunden gentemot huset och atmosfären. Inne i huset blev resultaten ungefär detsamma, dvs radonhalterna sjönk avsevärt. Effekten har åstadkommit av betydligt högre luftomsättning än tidigare, 3,5 oms/h i kryppgrunden, och troligtvis av att radonet från marken ej kom in i kryppgrunden.



- 1 - 3 h = Under normala förhållanden
- 3 - 4,5 h = Övertryck i torpargunden
- 4,5 - 6 h = Undertryck i torpargunden

Figur 3.4.1 Radonhalten mättes i kryppgrunden med ett instrument som visade radonhalten kontinuerligt. För de tre andra husen är resultaten likvärdiga.

Vid undertryck i kryppgrunden i förhållande till bostaden var radonhalten i kryppgrunden avsevärt högre än vid normala förhållanden. Orsaken är troligtvis att transporten av radon från marken ökade mer än vad luftomsättningen gjorde i kryppgrunden. Inne i husen minskade inte radondotterhalterna nämnvärt jämfört med förhållandena vid normal ventilation. Detta trots att kryppgrunden hade undertryck i förhållande till bostaden vilket borde resulterat i att transporten av radon från kryppgrunden uteblev. Resultaten var alltså inte riktigt vad man hade förväntat när det var undertryck i kryppgrunden. En förklaring till resultaten skulle kunna vara att det inte var undertryck i hela kryppgrunden i förhållande till bostaden (vi mätte tryckförhållandena i två punkter i kryppgrunden).

Utöver de hus som försök har gjorts i har vi erfarenheter från ytterligare två med fläktventilerade krypgrunder. Dessa hus har övertryck i krypgrunden som permanent åtgärd. Resultaten hittills visar att det fungerar som i provhusen dvs radondotterhalterna i bostäderna är mycket låga efter åtgärd.

En nackdel med undertryck i krypgrunden i förhållande till bostaden är att det kan bli fuktproblem i krypgrunden under vintern. Varm luft från bostaden kan sugas ner i otätheter i bottenbjälklaget och kondensera mot kalla ytor i bjälklagets nedre del eller i krypgrunden.

En nackdel med ökat övertryck i krypgrunden mot normalt är att det under den kalla årstiden kan blåsa upp kall luft från krypgrunden till bostaden genom otätheter i bottenbjälklaget. Detta påverkar uppvärmningskostnaderna och inomhusklimatet. Ur fuktsynpunkt är det ingen risk för bjälklaget eftersom kall luft aldrig kondenserar mot en varmare yta.

En gemensam nackdel med ökad ventilation i en krypgrund, gäller både över- och undertryck, är att fuktbelastningen under sommartid ökar. Även vid normala förhållanden är fuktbelastningen stor på sommaren beroende på att när varm uteluft kommer in i krypgrunden kyls luften och relativa luftfuktigheten ökar. Ofta blir relativa luftfuktigheten över 80 % i krypgrunden under sommaren. Ökas ventilationen ökar även fuktbelastningen vilket kan leda till fuktskador och mögellukt. Andra gemensamma nackdelar är att

- en ökad ventilation i kryprummet ger lägre temperatur i kryputrymmet under den kalla årstiden.

- sänkt temperatur i kryprummet kan utgöra en risk för tjälskador på grundmuren. Detta gäller speciellt i nya hus med välisolerade bottenbjälklag (upp till 40 cm mineralull). Vi har sett skador på grundmurar i några hus i västsverige som troligtvis är orsakade av tjäle.

Om krypgrunden övertrycksventileras med inneluft finns risk för fuktskador på grundmuren under den kalla årstiden. Isoleras dessa och markytan torde risken minska avsevärt eftersom temperaturen då blir högre och relativa luftfuktigheten minskar. Krypgrunden blir då egentligen en varmgrund vilket behandlas nedan.

På senare år har hus byggts med så kallad varmgrund. Detta innebär att husets frånluft blåses ner i en tät välisolerad grund. Från grunden sugs luft genom värmväxlare eller direkt ut i det fria. I grunden blir det normalt övertryck vilket ställer krav på bra täthet i bottenbjälklaget i de fall som markradon kommer in i grunden.

I Ekängsområdet i Skövde och inom del av Lannaområdet i Örebro har hus byggts med varmgrund. Bottenbjälklaget, grundmurar och stödbalkar är av lättbetong. Stommen i övrigt är av trä. En förundersökning gjordes i fjorton av dessa hus med avseende på radonhalten i varmgrunden och radondotterhalten i bostaden. Radonhalten mättes med zinksulfidbehållare. Radondotterhalten mättes med filtermetoden enligt Kusnetz.

I Skövde gjordes mätningar i åtta hus. Radondotterhalten var under  $10 \text{ Bq/m}^3$  i samtliga bostäder (vid så låga koncentrationer blir mätvärdena något osäkra, men vi kan konstatera att det var mycket låga halter). Den högsta radonhalten i varmgrunden uppmättes till ca  $1400 \text{ Bq/m}^3$ . I övrigt var det ganska låga radonhalter i varmgrunderna.

I Örebro gjordes motsvarande mätningar i sex hus. Radondotterhalten inomhus understeg  $30 \text{ Bq/m}^3$  i fyra hus. I de andra två husen var radondotterhalten 50 respektive  $65 \text{ Bq/m}^3$ . Radonhalten i varmgrunden varierade från  $770 \text{ Bq/m}^3$  till  $5380 \text{ Bq/m}^3$ . Den bostad som hade högst radondotterhalt hade också högst radonhalt i varmgrunden. Något samband mellan hög radonhalt i varmgrunden och hög radondotterhalt i bostaden kan man inte påstå finns eftersom radondotterhalterna i bostäderna totalt sett är mycket låga. Däremot visar resultaten att bottenbjälklagen i stort sett är täta i samtliga hus. Möjligtvis finns ytterst små läckage men om det funnits stora läckage borde radondotterhalten blivit betydligt högre än de värden som mättes upp.

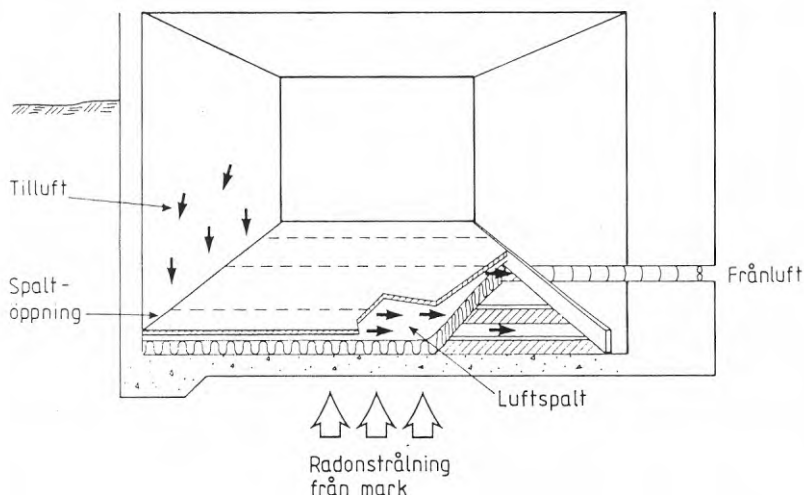
Ytterligare ett hus i Örebro med samma konstruktion som de övriga kontrollerades mycket noga. Temperatur och relativ luftfuktighet mättes i bostaden, ute och i varmgrunden. Radonhalten mättes i varmgrunden och radondotterhalten mättes i bostaden. Tryckskillnaden mättes mellan bostad och varmgrund. Vindhastighet och vindriktning mättes ute.

Mätresultaten visade att radondotterhalten i bostaden vid normal ventilation i medeltal var under  $40 \text{ Bq/m}^3$  trots att radonhalten i varmgrunden i medeltal var cirka  $1700 \text{ Bq/m}^3$ . Tryckskillnaden mellan varmgrund och bostad varierade mellan 6-10 Pa övertryck i varmgrunden. Resultaten visar att även detta bottenbjälklag sannolikt är tätt. En slutsats av resultaten är att varmgrunden trots hög luftomsättning har hög radonhalt. Vid andra försök som vi tidigare redovisat med övertryck i krypgrunden gentemot atmosfären och huset har radonhalten i krypgrunden blivit mycket låg. Så är ju inte fallet i detta hus och det skulle kunna förklaras av att det trots ett högt övertryck i varmgrunden gentemot huset inte var övertryck i varmgrunden gentemot atmosfären. Då kan radon från marken sugas upp i varmgrunden.

Det fanns även en tendens att radonhalten i varmgrunden varierade med hur vindstyrkan ute varierade. Vid låga vindhastigheter ute steg radonhalten i grunden och vid höga vindhastigheter ute sjönk radonhalten. Ventilationen och tryckförhållandena i varmgrunden påverkades alltså av vindhastigheten ute. Därför är det troligt att varmgrunden inte var helt tät mot det fria. Detta har ingen betydelse för radonproblematiken så länge som det är tätt mellan bostad och varmgrund.



Som vi tidigare har påpekat går det inte, utan att göra stora ingrepp, att spåra och täta sprickor i betongen i uppreglade golv. Dessa konstruktioner går oftast ändå att åtgärda genom att skapa undertryck i golvet i förhållande till bostaden. Avsikten är att radonet skall evakueras innan det når bostaden. Principen för metoden framgår av figur 3.5.1.



Figur 3.5.1 Principskiss av ventilering av uppreglat golv.

Metoden förutsätter att golvet medger ventilering vilket i princip innebär att golvet måste vara uppreglat. I ett så kallat flytande golv (isolering av cellplast) fungerar knappast metoden och är det helt fyllt med icke luftgenomsläpplig isolering i regelfacken mellan betong och golvskiva finns heller ingen möjlighet till ventilation. Är det däremot isolerat med mineralull har mineralullen oftast "satt" sig såpass mycket att det finns en springa mellan isolering och spånskiva som medger ventilering.

Ligger golvreglarna på kilar är det en fördel eftersom luft då kan cirkulera mellan olika regelfack i golvet. Det blir också lättare att åstadkomma undertryck i hela golvet jämfört med om golvreglarna är ingjutna eller ligger på betongen. Då måste installatören vara uppmärksam på att det verkligen blir undertryck i samtliga regelfack.

Luftflödet i golvet behöver inte vara stort. Metoden går att utföra på två sätt:

1 Samtliga golvvinklar tätas för att luftflödet i golvet skall bli så litet som möjligt.

2 Golvvinklarna längs med golvreglarna tätas. Golvvinkeln vid den motstående sidan i förhållande till där luft sugas i golvet öppnas något t ex tas ett spår upp i golvskivan och sparklisten monteras med masonitdistanser.

Luftflödet per timme i golvet bör inte överstiga rummets volym  $\cdot 0,5$ . Det bör observeras att husets ventilationssystem påverkas. I t ex ett självdragshus kan det, om huset saknar tilluftsventiler och är mycket tätt, bli omvänt flöde i frånluftskanaler. För att undvika detta kan det vara nödvändigt att mekaniskt frånluftsventilera huset.

De negativa effekter som kan uppstå är kallare golv om det är otätt vid golvvinklar. Det bör alltså inte vara otätt i anslutningen mellan bottenbjälklag och yttervägg. Detta kan delvis kontrolleras innan åtgärden görs genom att mäta lufthastigheten utmed golvvinkeln. Bästa förutsättningen för detta är när köksfläkten är inställd på maxhastighet dvs när bostaden får störst undertryck i förhållande till uteluften.

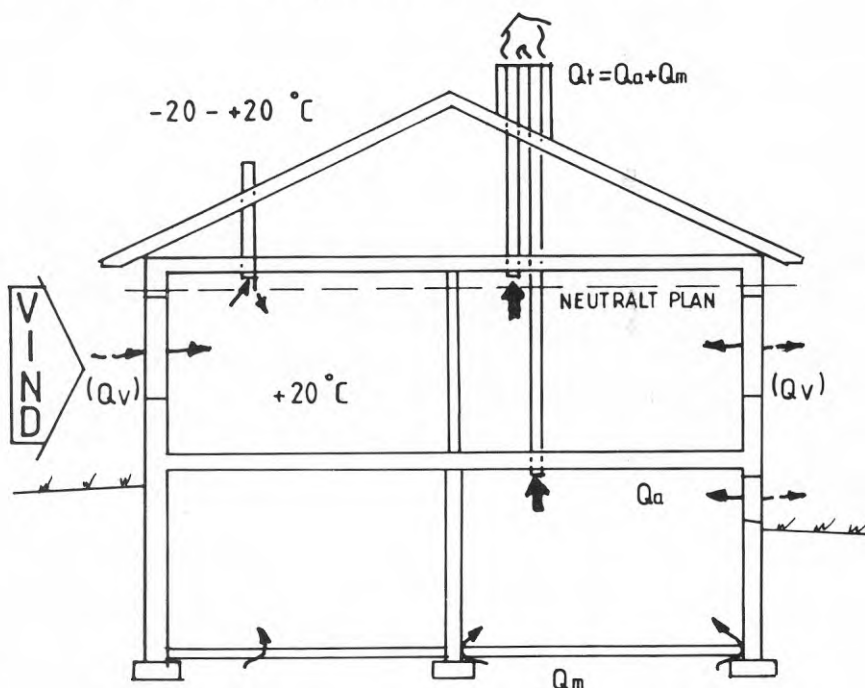
Fördelen med metoden är att åtgärden kan göras utan att golvet behöver brytas upp. Ur fuktsynpunkt finns också fördelar eftersom golvet blir varmare och torrare förutsatt att det är tätt vid golvvinkeln som vi tidigare påpekat. För att metoden skall fungera effektivt är det viktigt att hela golvet har undertryck. Stora krav ställs därför på att installationen görs riktigt. Tryckskillnaden mellan golvet och bostaden bör därför mätas på flera ställen efter det att åtgärden är gjord. Fläkten som suger luft från golvet bör placeras utomhus eller omedelbart innanför utloppet beroende på att det annars finns risk att radon läcker ut i bostaden efter fläkten (trycksidan).

Exempel på hur åtgärden fungerar framgår av avsnitt 6.1, hus 1 och 7.

## 3.6.1 Självdrag

En av anledningarna till de förhöjda radonhalterna är att vi genom energisparåtgärder tätat våra hus mot atmosfären men inte mot marken. Detta innebär att den naturliga luftomsättningen minskat och en större andel av luften kommer via marken.

Förhållandet mellan inflödet av markluft med radon och den totala luftomsättningen är beroende av täthetsskillnaden mellan husets väggar och tak jämfört med kontakten mot marken. Om man ändrar täthetsförhållandet kan man också ändra den andel av totala luftflödet genom huset som utgörs av markluft och därmed radonflödet till huset.



Figur 3.6.1 Självdragsventilation

I första hand sker ändringen genom att totalflödet  $Q_t$  ökar genom att inflödet av utomhusluft  $Q_a$  ökar så att större utspädning av radonet erhålles. I andra hand påverkas tryckbilden i huset genom att tätheten i byggnadens skal ändras och därmed ändras läget på det neutrala planet. Undertrycket vid källargolvet ändras beroende på om neutrala planet flyttas uppåt eller nedåt. Om neutrala planet flyttas nedåt minskar undertrycket och inflödet av markradon under förutsättning att man har ökat inflödet av uteluft under det neutrala planet även efter förändringen.

I hus byggda av lättbetong är byggnadsskalen så täta att det normalt råder undertryck i hela huset. Detta medför att varje ökning av luftomsättningen genom minskning av tätheten på byggnadsskalet är bra för reducering av radonhalten. Sett ur andra aspekter, t ex uppvärmningskostnad och komfort, kan det ha motsatt effekt.

De sätt på vilka man kan öka otätheten i byggnadsskalet är t ex att ta bort ca 0,5 m av tätningslisten i överkanten av fönstren eller att sätta in någon form av fönster- eller väggventil. Det finns på marknaden speciella tilluftsventiler som ger god inblandning av rumsluft och därmed inte leder till ökat drag.

Ökar man otätheten ovanför neutralplanet medför detta att neutralplanet troligen flyttar sig uppåt, varvid en större del av byggnadsskalet får ett inflöde. Därmed ökar luftomsättningen men också undertrycket vid källargolvet, varför man i sämsta fall inte erhåller någon förändring.

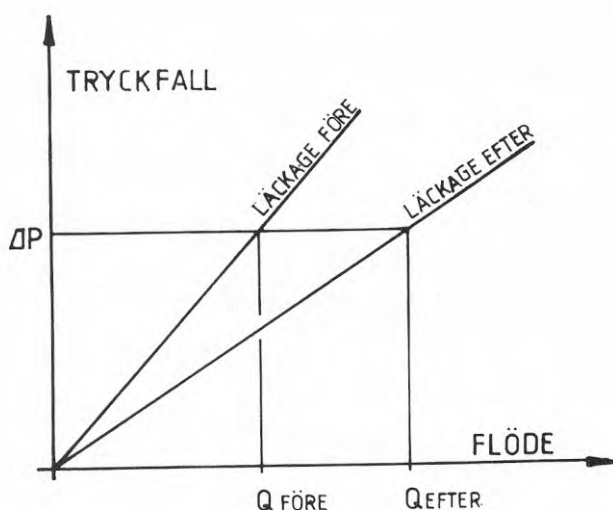
Den ökade självdragsomsättningen leder till en ökad energiomsättning. För att inomhus hålla samma temperatur som förut får man tillsätta mer värme. Detta är en förutsättning för att luftomsättningen skall öka, annars sjunker temperaturen och luftomsättningen ökar inte.

Genom att inte sänka temperaturen upprätthålls även tryckenergiens absolutvärde. Dock förändras enligt vad som tidigare genomgått tryckbilden och inflödet av uteluft, se figur 3.6.2.

Detta synsätt vid stationära förhållanden är mycket förenklat men påvisar vilka grundläggande faktorer man kan påverka för att radoninflödet skall minska respektive spädas ut.

Tryckförhållandena i ett hus påverkas av temperatur (inne och ute), vind (styrka och riktning) och lufttryckförändringar. Dessa parametrar är aldrig statiska utan förändras ständigt varvid deras inverkan är svåra att undersöka och analysera. Det har gjorts mängder med laboratorie- och praktiska försök att kartlägga tryck- och flödesbild i hus för att erhålla empiriska modeller och beskriva verkligheten.

Hittills har man erhållit nästan lika många modeller som gjorda försök men trots detta är man överens om de grundläggande faktorerna som varit kända under lång tid.



Figur 3.6.2 Ökning av utluftflödet vid minskning av byggnadsskalets täthet vid samma tryck (temperaturskillnad inne och ute)

### 3.6.2 Mekanisk ventilation

Att som åtgärd mot markradon installera en ventilationsanläggning är inte idealiskt, eftersom man då ventilerar ut radonet efter det att det kommit in i huset. I första hand bör man alltid försöka tillse att man minskar markluftens inflöde innan man påverkar utspädningen för att undervika onödigt stora luftomsättningar.

I de fall då byggnadsmaterialet avger radon och man har ett visst bidrag från marken kan en ventilationsanläggning vara lämplig att installera. En projekterad luftomsättning av högst en omsättning per timme är normalt. Med en effektiv värmeväxling bör inte värmekostnaderna öka utan kostnaden ligger i installationen av systemet, vilken betalas av den ökade allmänna komforten samt det faktum att radondotterhalten samt andra föroreningar hålls på rimliga nivåer. Radon är ju inte det enda problemet i våra hus, där kan också finnas också fukt, mögel m m.

Ventilationsanläggningen påverkar i första hand luftomsättningen genom att man tillsätter och avlägsnar luft i olika delar av huset. I andra hand påverkas tryckbilden på grund av att man vid installationen måste se till att byggnadsskalet är tätt för att uppnå en effektiv och ekonomisk luftomsättning.

Det bör här varnas för att försöka motverka skorstenseffekten som t ex att övertrycksventilera en källare. Det leder i de flesta fall till sämre resultat än man kunnat förutse.

Ett effektivt sätt att hålla markradonet utanför huset vore att övertrycksventilera hela huset men detta går av byggnadsfysikaliska skäl inte att genomföra i vårt klimat. Den fuktiga inomhusluften trycks då ut i husets väggar och vintertid kondenserar denna fukt i väggarnas kalla delar. Fukten kan också frysa och spränga sönder delar i en konstruktion. Den ökade fuktigheten i byggnadsmaterialet leder också till större värmeförluster beroende på bättre värmeledning. Det skulle troligen också leda till fuktproblem som röta och mögel i byggnadsmaterialet.

Att försöka minska undertrycket genom att tillsätta mer luft i källaren än vad man tar ut leder till en obalans i ventilationssystemet som gör värmeväxlingen oekonomisk. Det minskar inte heller alltid radoninflödet i den utsträckning man avsett. Det är då bättre att med andra metoder, t ex en s k golvsug (se kapitel 3.2), stoppa eller minska inflödet av markradon och sedan installera ett väl balanserat ventilationssystem som späder ut resterande radonhalt till acceptabla nivåer.

### 3.6.3 Kostnad och nytta av ökad luftomsättning

Under förutsättning av konstant tillflöde av radon och att detta tillflöde inte påverkas av förändringar i husets ventilation, kan man analysera relationen mellan kostnad för ökad energiförbrukning vid ökad luftomsättning och nytta i form av minskad radonhalt. Analysen är därför fullt tillämpbar endast i de fall då radon till helt övervägande del kommer från byggnadsmaterial. Inflöde av radon från marken är starkt beroende av tryckdifferens mellan markens porer och husets inre. Eftersom förändringar i husets ventilation ofta återverkar på denna tryckdifferens har de också i allmänhet effekt på inflödet av radon från marken. Resultatet av denna analys presenterades vid konferensen Indoor Air i Stockholm 1984 /INDOOR AIR 84/.

Bidraget till radonhalten bestäms av formeln

$$C_{Rn}(n) = E/(n+\lambda) \text{ där}$$

$C_{Rn}(n)$  = bidraget till radonhalten som funktion av n

E = tillflöde av radon, Bq/m<sup>3</sup>h

n = luftomsättning, h<sup>-1</sup>

$\lambda$  = radonets sönderfallskonstant,  $7,55 \cdot 10^{-3} \text{h}^{-1}$



Tillflödet av radon från byggnadsmaterial bestäms av formeln

$$E = (P_i \cdot F_i) / V \text{ där}$$

$$V = \text{byggnadens volym, m}^3$$

$$P_i = \text{specifik exhalation av radon, Bq/m}^3\text{,h}$$

$$F_i = \text{area}$$

I det följande förutsätts att i bostäder finns totalt  $1,8 \text{ m}^2$  radonavgivande ytor per  $\text{m}^3$  byggnadsvolym. Tillsammans med den specifika radonavgivningen från vanliga byggnadsmaterial enligt kapitel 2.1 erhålles byggnadsmaterialens bidrag till radonhalten som funktion av luftomsättningen enligt figur 3.6.3. En given förändring av luftomsättningen, t ex med 0,1 omsättning per timme, får mycket större effekt i ett tätt hus med låg luftomsättning än i ett otätt eller på annat sätt ventilerat hus, figur 3.6.4. Om alla beaktade faktorer kan uttryckas i en osh samma dimension är det möjligt att finna den luftomsättning vid vilken kostnaden av en marginell ökning av luftomsättningen precis motsvaras av nyttan i form av minskad radonhalt. Beräkningen exemplifieras med följande förutsättningar, som bedöms svara mot situationen i Sverige:

- jämviktsfaktorn mellan radon och radondöttrar förutsätts vara 0,5
- exponering för radondöttrar i bostadsmiljö förutsätts i enlighet med UNSCEAR /UNSCEAR 82 / motsvara  $0,08 \text{ mSv/år}$  per  $\text{Bq/m}^3$
- vid fördelning av tillgängliga resurser inom strålskydd kan 100 000 kronor per manSv illustrera övergångsområdet mellan motiverade och icke motiverade kostnader.
- varje person förutsätts disponera  $35 \text{ m}^2$  bostadsyta
- den rörliga kostnaden för energi förutsätts vara  $0:35/\text{kWh}$  i elvärmda hus,  $0:25/\text{kWh}$  i hus anslutna till fjärrvärmesystem och  $0:10/\text{kWh}$  i hus där värmen produceras med värmepump
- uppvärmning av ventilationsluften utan värmeåtervinning kräver vid en luftomsättning per timme  $90 \text{ kWh/m}^2\text{,år}$ .

Av ovanstående följer att kostnader upp till 4 kronor per år och person kan anses motiverade för att sänka radonhalten med  $1 \text{ Bq/m}^3$ . Kostnaden för uppvärmning av ventilationsluften blir 1 100, 800 respektive 300 kronor per person och år och luftbyte per timme.

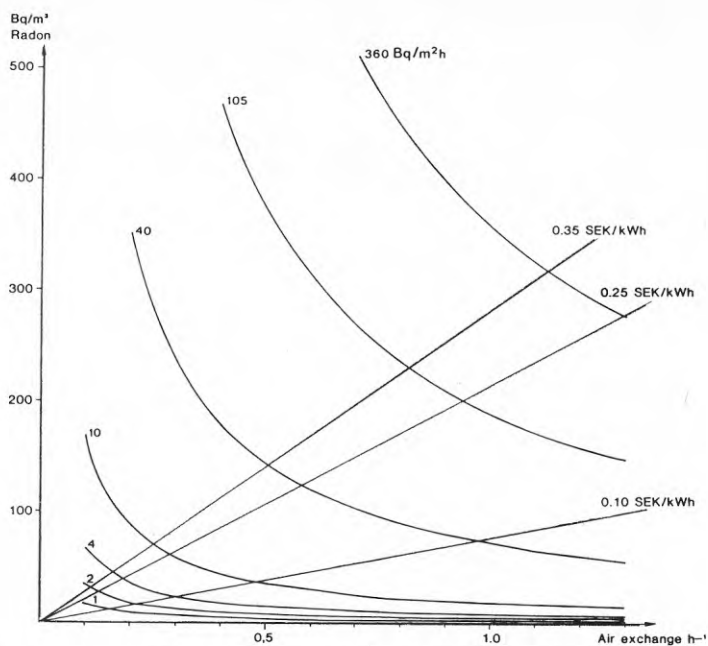


Kostnaderna och nyttan väger lika när derivatan av formel (1),  $-E/(n+\lambda)^2$ , dvs den marginella ändringen i radonhalt som funktion av en liten förändring i ventilationsgrad motsvarar  $1100/4 = 277$ ,  $800/4 = 200$  resp  $300/4 = 75$  Bq/m<sup>-3</sup>/luftomsättning, h<sup>-1</sup>. Detta inträffar vid följande luftomsättningar och bidrag till radonhalten från byggnadsmaterialen i ett elvärmt hus:

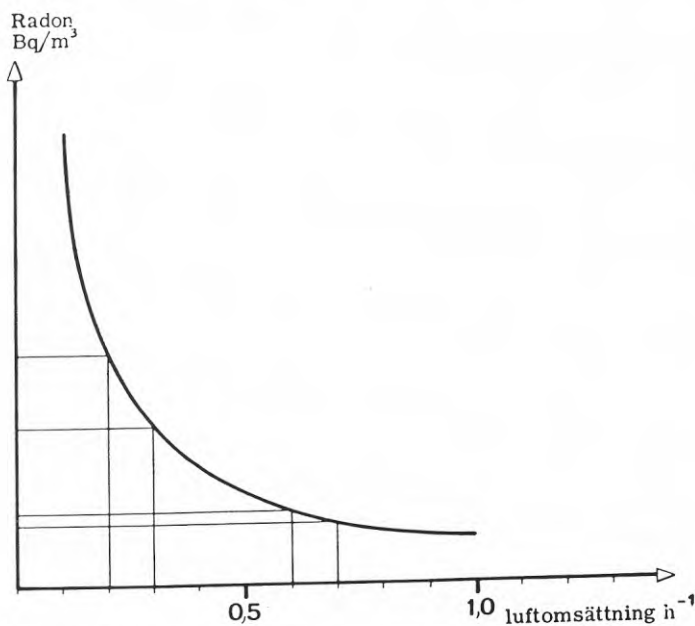
Tillflöde Bqm <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup>	Balans mellan kostnad o nytta vid luftomsättning	radonhalt
1x1.8 = 1.8	0.073	22
2x1.8 = 3.6	0.11	32
4x1.8 = 7.2	0.15	45
10x1.8 = 18	0.25	71
40x1.8 = 72	0.50	141
105x1.8 = 189	0.82	229
200x1.8 = 360	1.13	316

Dessa samhörande värden på radonhalt och luftomsättning har markerats i figur 3.6.3 tillsammans med motsvarande samband för energikostnadsnivåerna 0.25 och 0.10 kronor per kWh.

Av figuren framgår att för de byggnadsmaterial som används idag gäller att radonavgången inte ensam kan försvara den energiförbrukning som följer av att ventileras med 0.5 omsättning per timme, såvida inte ventilationen sker med en anläggning som återvinner frånluftens värmeinnehåll eller värmen produceras med hjälp av en värmepump. Om så är fallet, och den marginella kostnaden för att tillföra nödvändig värme till en marginell ökning av tilluftflödet är ca 0.10:- per kWh, innebär 0.5 luftomsättning per timme en rimlig avvägning mellan kostnad och nytta. Utformningen av nya hus med värmeåtervinning ur frånluften och ca 0.5 luftomsättning per timme, förefaller lämplig med hänsyn till energikostnader och radonavgivning från de vanliga byggnadsmaterialen. I hus med stor andel av kraftigt radonavgivande skifferbaserad lättbetong i stommen skulle man även vid dagens energipriser kunna motivera de kostnader som följer av att ha omkring en luftomsättning per timme utan återvinning av värme. Detta är närmast hypotetiskt eftersom återvinning av värme vid så stora luftflöden gör värmeåtervinningen ekonomiskt motiverad. Med värmeåtervinning blir kostnaden för energi lägre per enhet energi som tillförs tilluften. Huvuddelen tas ur frånluften och endast en mindre del måste tillföras i form av köpt energi. I denna situation blir det inte kostnaden för energiförbrukning som begränsar hur kraftig ventilation som kan anses vara motiverat. Kapaciteten hos de ventilationsanläggningar som av praktiska skäl kommer ifråga blir det som sätter den övre gränsen för lämplig ventilation. Helt klart är dock att man bör sträva efter en ventilationsgrad väsentligt över 0.5 luftomsättningar per timme i hus av skifferbaserad lättbetong.



Figur 3.6.3 Byggnadsmaterialens bidrag till radonhalt som funktion av luftomsättning. Gräns för kostnadseffektiv ventilation vid olika energipris.



Figur 3.6.4 Illustration av ventilationsgradens inverkan på effekten av en marginell ändring av luftomsättningen

### 3.7 Filtrering av luft

Såväl mekaniska som elektrostatiske filter har förmåga att avskilja radondöttrar ur luft. Avskiljningsförmågan gäller såväl för partikelbundna som icke partikelbundna och joniserade eller oladdade radondöttrar. Det är därför möjligt att med filtrering av luft i bostäder reducera koncentrationen av radondöttrar i inomhus-luften.

Filtrering påverkar dock inte koncentrationen av radon i luften. Även efter en fullständig separation av radondöttrar kommer därför koncentrationen av radondöttrar att tillväxa genom radioaktivt sönderfall av radonet. Effekten av filtrering är därför förhållandevis kortvarig och begränsas av halveringstiden för radondöttrarna.

I filtrerad luft har allmänt befarats att en större andel av kvarvarande radondöttrar kommer att föreligga som obunden fraktion, dvs inte bundet till luftens innehåll av partiklar. Allmänt befaras vidare att sådana obundna radondöttrar räknat per aktivitetssenheter innebär större risk för lungcancer än partikelbundna radondöttrar. Man har därför befarat att filtrering ger begränsad eller eventuellt ingen reduktion av hälsorisen.

Filtrering av luft har med anledning av ovanstående inte provats inom detta projekt som en åtgärd mot hög radondötterhalt. Filtrering har endast tillämpats som komplement i ventilationssystem baserade på FTX-principen. Syftet har i dessa fall primärt varit annat än avskiljning av radondöttrar, tex att motverka besvär hos pollenallergiker.

Inom ett annat BFR-projekt har man vid institutionen för Radiofysik vid Lunds Universitet mätt absoluta koncentrationen av obunden aktivitet av radondöttrar med och utan filtrering. Resultatet har omräknats med vanligen använda matematiska modeller för samband mellan inhaled aktivitet och effektiv dosekvivalent. Resultaten antyder att filtrering under inga omständigheter kan ge en märkbar ökning av den effektiva dosekvivalenten samt att det kan krävas filtrering upp till ca 4 gånger per timme för att uppnå 50% reduktion av den effektiva dosekvivalenten /Samuelsson 83/. Likartade resultat har framkommit vid Danmarks Tekniska Högskola. Filtrering av luft 3 a 4 gånger per timme beräknas halvera den effektiva dosekvivalenten samtidigt som koncentrationen av radondöttrar i luften reduceras med 80-85% /Jonassen 85, Jonassen 87/.

Baserat på det ovanstående kan man utgå från att filtrering av luft tex i astmatikers bostäder med säkerhet inte ökar och troligen minskar effektiva dosekvivalenten med 0-50%.

#### 4. BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER VID NYPRODUKTION AV SMÅHUS

Vid nybyggnad av bostäder är det nödvändigt att beakta risken för inflöde av radon från underliggande mark. För att uppfylla kravet i Svensk Byggnorm på  $70 \text{ Bq/m}^3$  radondöttrar måste inflödet av markluft ofta hållas på en mycket låg nivå. Vid ett yt-volymförhållande på  $1.8 \text{ m}^2$  radonavgivande yta per kubikmeter byggnadsvolym och  $10 \text{ Bq/m}^2$ , h specifik radonavgivning från byggnads-materialen kan man vid 0.5 luftomsättning per timme förvänta sig att byggnadsmaterialen bidrar med 15 - 20  $\text{Bq/m}^3$  radondöttrar. Inflöde av markradon kan därför inte tillåtas bidra med mer än ca  $50 \text{ Bq/m}^3$  radondöttrar, motsvarande ca  $100 \text{ Bq/m}^3$  radon. Inflödet av markradon måste därför begränsas så att koncentrationen reduceras till denna nivå när den inflödande markluften blandas med det flöde av luft som passerar genom huset i form av ventilation och vädring. Även på normal mark är radonhalten i markluften mycket högre än vad som kan accepteras i bostäder. Detta exemplifieras med en byggnad med  $200 \text{ m}^2$  totalyta,  $500 \text{ m}^3$  byggnadsvolym, och flödet av ventilationsluft lika med  $250 \text{ m}^3/\text{h}$ . Vid en helt normal radonhalt på  $10 \text{ kBq/m}^3$  i markluft krävs det utspädning av den inflödande markluften i 100 gånger större flöde av ventilationsluft. Inflödet av markluft till småhus måste därför alltid begränsas till mindre än  $2.5 \text{ m}^3$  per timme oavsett typ av mark. Vid 100 resp  $300 \text{ kBq/m}^3$  radon i markluften måste inflödet av markluft begränsas till 0.25 resp 0.08  $\text{m}^3/\text{h}$ . Detta kräver i många fall mer eller mindre omfattande modifiering av konventionellt utförande.

De senaste fem årens erfarenheter har emellertid visat att det är möjligt att uppfylla dessa krav på begränsning av inflödet av markluft. I allmänhet har det visat sig kunna ske genom val av lämplig hustyp och relativt små modifieringar av konventionellt utförande. Alla normalt förekommande hustyper kan modifieras så att inflödet av markradon begränsas. Vissa vanliga konstruktioner kan anses vara radonskyddande även i normalt utförande eller kräver endast obetydliga modifieringar. Det har dessutom visats att det är möjligt att till rimlig merkostnad modifiera konstruktionen så att även den mest extrema "radonmark" kan bebyggas.

Det har visat sig att man inte behöver ta till drastiska åtgärder som att helt eliminera bostadens kontaktyta mot marken genom att ställa det på plintar eller pålar, som man på vissa platser i USA föreskriver vid bebyggelse på mark som kan översvämmas. Följande åtgärder, ofta ett par i lämplig kombination, kan ge ett tillräckligt skydd mot inflöde av markradon:

- se till att husets kontaktyta mot marken är så tät som möjligt genom att använda täta byggnads-material, täta nödvändiga skarvar och applicera täta ytskikt,

- minimera kontaktytan mellan bostad och mark,
- täta alla rör genomföringar,
- minimera luftens undertryck i huset jämfört med marken,
- upprätthålla en inte alltför låg luftomsättning i huset,
- upprätthåll undertryck i marken under huset eller ventilera det kapillärbrytande skiktet, eller förbered för enkel komplettering med detta för det fall att markradon visar sig tränga in i huset.

Grundläggning med platta på mark eller kryppgrund kan göras radonsäker genom relativt små förändringar av normalt utförande. Dessa grundläggningstyper har därför kommit till användning i större delen av den nyproduktion på radonfarlig mark som vi haft möjlighet att följa upp.

#### 4.1 Täta begränsningsskikt

Eftersom markradon tränger in i hus huvudsakligen med konvektivt flöde av markluft, är det i princip tillräckligt att upprätthålla minst ett sammanhängande tätt begränsningsskikt mellan husets inre och marken. Detta kan ske genom att de byggnadsdelar som ansluter mot marken utformas så att otätheter undviks, tex genom att göra rör genomföringar täta och förebygga sättningar och sprickbildning i betong. Det är också möjligt att uppnå bestående täthet genom komplettering med nya komponenter i dessa byggnadsdelar. Man kan lägga in extra plast- eller aluminiumfolie på betongplatta eller i kryputrymme, belägga betongplatta med ett permanent elastiskt ytskikt som behåller täthet även om betongplattan skulle spricka, tex gummiasfalt, utforma betongplattan som två separata plattor med mellanliggande skikt av tex gummiasfalt.

I Varnhem, Skara kommun, byggdes 1979-1980 en grupp av 21 tvåvånings enfamiljshus på mark som man visste var starkt radonavgivande. Husen planerades för grundläggning med platta på mark. Sex av husen förlades till en sluttning och utformades därför som soutterånghus. Stommen är av trä. Eftersom all mark i Varnhem innebär kraftigt förhöjda risker för inflöde av markradon kunde man inte undvika problemet genom att välja annan plats för husen. Detta skulle dessutom ha inneburit förseringar och merkostnader genom att ledningsdragnings och planering skulle ha behövt göras om. Man gjorde därför bedömningen att man borde fullfölja den planerade bebyggelsen men söka förhindra inflödet av markradon genom lämplig modifiering av byggnadstekniken. Man var vid denna tidpunkt inte medveten om att radons rörelser i marken till stor del är resultatet av konvektiva flöden av markluft. Följaktligen hade man inte heller insett betydelsen av markens permeabilitet.



Man inhämtade rekommendationen att söka avskärma radon från större djup i marken genom att lägga ut ett skikt av finkornig morän och packa denna omsorgsfullt under husen. Mellan moränen och betongplattan skulle placeras ett dränerande och kapillärbrytande skikt av krossad diabas. I verkligheten var det snarare finsand än morän som applicerades under plattorna. Den föreslagna åtgärden skulle ha kunnat avskärma eventuell kraftig gammastrålning från underliggande mark. I detta fall var dock gammastrålningen inte högre än 30 uR/h, varför redan en betongplatta förmår skärma av så stor del av strålningen att den penetrerande delen absolut sett är liten och att gammastrålningen över en betongplatta kommer att domineras av den strålning som avges från radioaktiva ämnen i plattan själv.

När husen byggdes var man medveten om att det var mycket angeläget att undvika otätheter mellan marken och husens inre. Detta har troligen bidragit till att betongplattorna med rör genomföringar blivit hyggligt täta.

Husen kom att ingå i ett forskningsprojekt vid Institutionen för byggnadsteknik vid Kungl Tekniska Högskolan (Levin 82). Detta projekt gick ut på att genom praktiska prov utvärdera möjligheterna att använda en speciell laminerad folie, bestående av polyeten, porfri aluminium och polyester, för tätning av byggnaders anslutning mot marken. Laboratorieprov vid Statens Strålskyddsinstitut hade tidigare visat att denna folie är helt radontät. För denna studie delades husen in i fyra grupper. I tre hus lades folie under innerväggarna samt över isoleringen. Skarvarna svetsades. I sju hus lades folien direkt på betongen och skarvades utan svetsning genom att läggas med minst 20 cm överlapp. Sex hus försågs med enbart normal polyetenfolie som diffusionsspärr för fukt och utgjorde kontroller. Resterande 5 hus är av soutter-rängtyp och därmed inte direkt jämförbara. Dessa ingick inte i studien vid KTH.

Sveriges Geologiska Undersökning har studerat geologin inom det aktuella området. I marken finns flera skikt av grusig-sandig alunskiffermorän. Gammastrålningen når upp till 30 uR/h och radonhalten i markluften mättes till 225 000 - 300 000 Bq/m<sup>3</sup>.

Samtliga hus utrustades med mekanisk ventilationsanläggning av FTX-typ. Ventilationen kan regleras steglöst. Åtminstone under de första åren var det vanligt att fastighetsägaren valde att köra anläggningen på ett lågt varvtal och upprätthålla en luftomsättning troligen väl under 0.5 omsättningar per timma.

En variant av folien hade även provats som tätskikt på väggar av skifferbaserad lättbetong i ett annat BFR-projekt /Clavensjö 82/.

Inom detta projekt har denna husgrupp blivit föremål för mätning av radonhalten vid fyra tillfällen, först

endast en kort tid efter det att husen blivit färdigställda med TLD instrument från december 1980 till januari 1981, därefter med momentanprov i evakuerade luftflaskor från Strålskyddsinstitutet i februari 1981, därefter med TLD-instrument i juni-juli 1982 och slutligen med film i kopp under första halvåret 1985. Radonhaltens medelvärde,  $\text{Bq/m}^3$ , för respektive grupp av hus har vid de olika mätomgångarna varit:

	dec80-jan81	feb81	jun-jul82	våren85
soutteränghus	70	70	80	150
kontroller	195	370	140	200
folie överlapp	140	230	130	340
svetsad folie	120	240	60	220

Härav kan man dra slutsatsen att varken folien som sådan eller metoden att skarva den genom svetsning har haft något avgörande inflytande på husens täthet mot marken. Betongplattan i sig förefaller ge tillräckligt motstånd mot inflöde. Detta motstånd förefaller också ha varit beständigt under de fem åren som husen följts upp. Förvånande är att soutteränghusen har haft den lägsta genomsnittliga radonhalten trots att dessa har större kontaktyta med marken och ligger mitt i området omgivet av de övriga husen. En möjlig förklaring kan vara att grundläggningen för soutterränghusen skett på sandig lera medan de hus som försetts med folie underlagras av ett ytligt lager av sandig-grusig alunskiffermorän. Det tätare materialet under soutteränghusen kan ha begränsat möjligheten för markluft och radon att röra sig upp från djupare belägna lager av genomsläpplig alunskiffermorän. De enskilda mätvärdena för husen presenteras i tabell 4-1. Härav framgår att de olika mätomgångarna även beträffande det enskilda huset visar god samstämmighet. De hus som visat riktigt låga värden har i flertalet fall gjort så i samtliga mätomgångar och indikation på inflöde av markradon har kommit i stort sett i samma hus varje gång. Mätvärdenas frekvensfördelning presenteras i figur 4-1. I de flesta av husen är radonhalten under  $200 \text{ Bq/m}^3$ , medan några visar högre radonhalter, vilket i detta fall är bevis på infiltration av markluft. Med radonhalten  $225 - 300 \text{ kBq/m}^3$  i markluften motsvarar tillskottet  $100 - 500 \text{ Bq/m}^3$  till radonhalten i inom husluften att markluften späds ut 500 till 2000 gånger när den blandas med övrigt luftflöde genom husen. Om det förutsätts att den mekaniska ventilationen har motsvarat ett luftflöde av  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  kan inflödet av markluft i dessa hus beräknas till  $0,1 - 0,4 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Med den erfarenhet vi har idag kan man bedöma att det skulle ha varit möjligt att eliminera inflödet av markradon genom att komplettera betongplattan med ett skikt av elastiskt, vidhäftande material, tex gummiäsfalt, och förbereda för ventilation eller undertryckshållning av det kapillärbrytande skiktet.



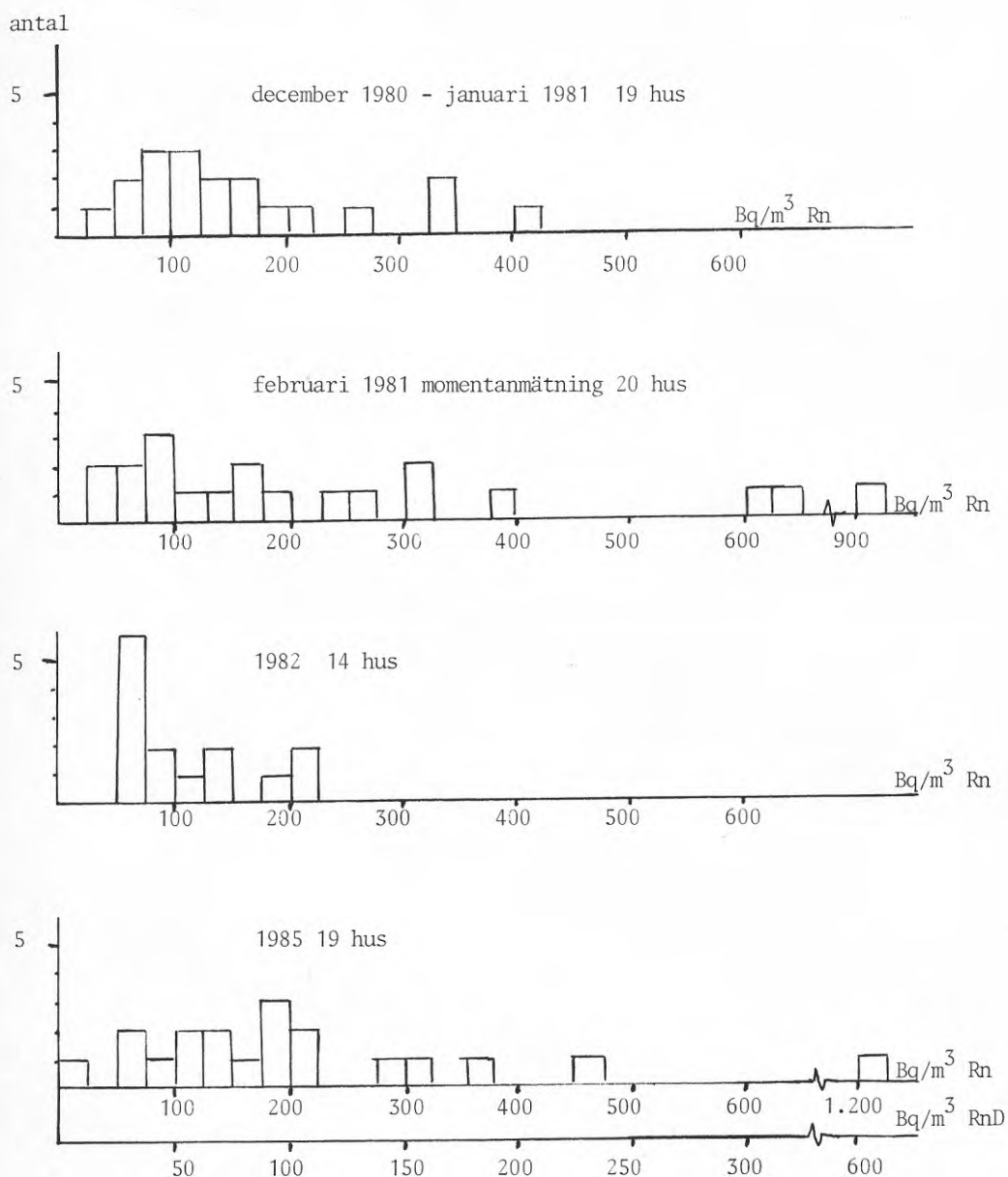


Fig 4.1 Frekvensfördelning av mätvärden erhållna vid fyra mätomgångar mellan 1980 och 1985 i en grupp av 20 nybyggda enfamiljshus i Varnhem.

fastighet      dec80-jan81<sup>1)</sup>    feb81<sup>2)</sup>    jun-jul82<sup>3)</sup>    våren85<sup>4)</sup>

FOLIE SKARVAD MED SVETSNING

4:69	130	380	60	230
4:78	160	250	60	190
4:77	80	90	70	20

FOLIE SKARVAD ÖVERLAPP

4:64	80	60	180	-
4:65	150	300	-	190
4:66	70	120	-	180
4:67	260	620	-	1200
4:68	120	230	-	200
4:75	120	150	75	210
4:76	200	140	-	90

PLATTA PÅ MARK UTAN FOLIE

4:79	100	300	50	140
4:80	400	900	200	140
4:81	330	630	145	360
4:82	330	190	90	290
4:83	30	40	205	70
4:84	-	150	-	-

SOUTTERÄNG

4:70	205	70	60	60
4:71	85	80	125	320
4:72	125	90	100	160
4:73	-	30	50	100
4:74	50	-	-	100

1) dec1980 - jan1981 mätning med TLD-instrument från Studsvik

2) februari 1981 luftprover analyserade vid SSI

3) juni-juli 1982 mätning med TLD-instrument från Statens Provningsanstalt

4) våren 1985 mätning med detektorer baserade på film i kopp försedd med filter, Strålskyddstjänst.

Tabell 4.1 Sammanställning av resultat från radon/-radondottermätning i kvarteret Fogdegården, Varnhem. Mätningar har skett fyra gånger med olika typ av mätare och i allmänhet på två platser i bostaden. I samtliga fall redovisas medelvärdet av dessa mätningar, i Bq/m<sup>3</sup> radon.

Under 1980 byggdes 27 friliggande 1 1/2 plansvillor i Ljungsbro. Även dessa hus har en stomme av träreglar och grundlades med platta på marken. Det kapillärbrytande skiktet ventilerades genom att dränerings-slangar som mynnade öppet till atmosfären genom kantbalkarna förlades under betongplattan. Effekten av detta på radonhalten i kapillärbrytande skiktet beskrivs i avsnitt 7.1. I denna husgrupp sker ventila-

tionen med mekanisk frånluft och springventiler ovanför fönstren.

Markens ytlager består i detta område av grusig sand underlagrad av lerig morän. Gammastrålningen når upp till 18 uR/h vilket tolkats som tecken på inblandning av alunskiffer. Radonhalten i markluften uppmättes av Statens geotekniska Institut till:

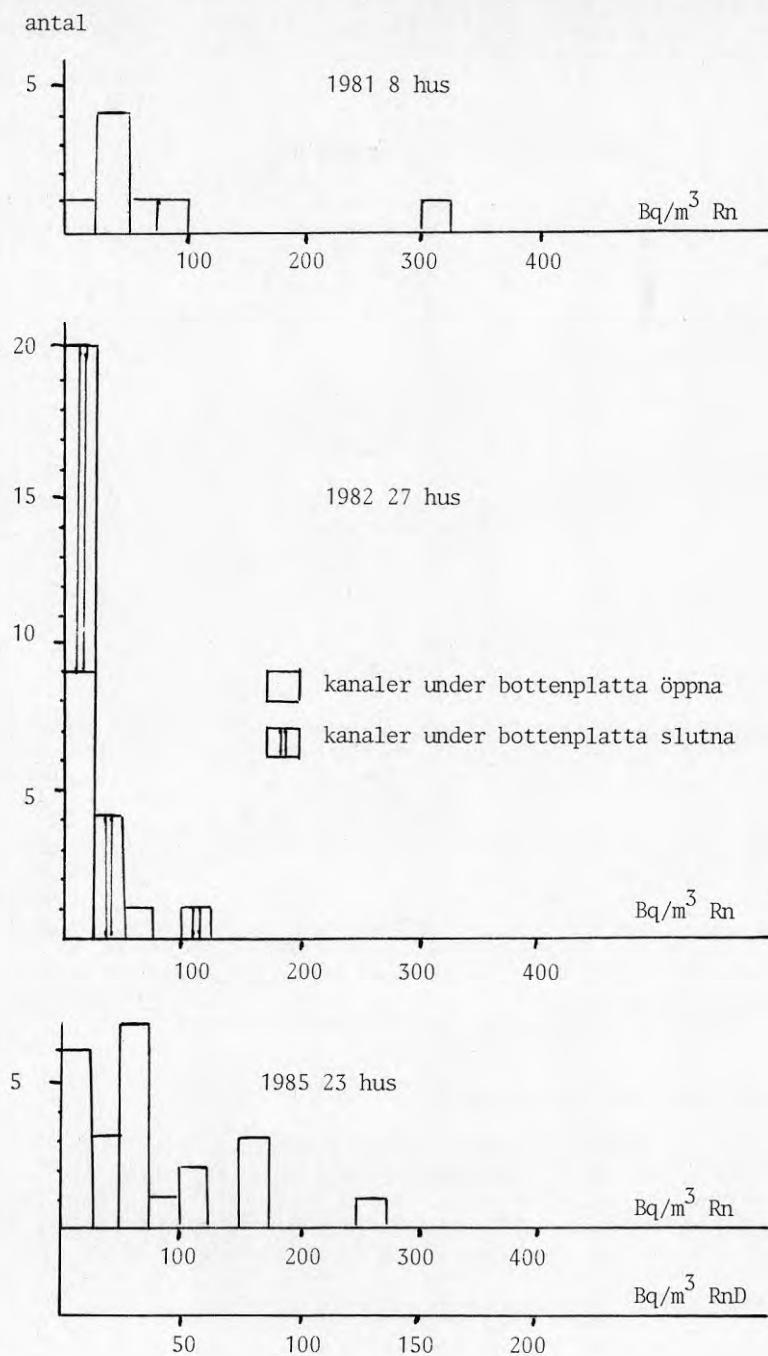
46 000 - 211 000 Bq/m<sup>3</sup> i den leriga moränen  
 22 000 - 54 000 Bq/m<sup>3</sup> intill blivande bottenplattor  
 10 000 - 38 000 Bq/m<sup>3</sup> under blivande bottenplattor.

I fyra av dessa hus provades aluminiumfolie som extra tätning. Inte heller i dessa hus kunde någon effekt av aluminiumfolien påvisas. Varken i dessa eller övriga hus skedde något märkbart inflöde av markradon (Levin 82).

Mätning av radonhalten har genomförts i dessa hus 1981 och 1982 med TLD instrument och 1985 med film i kopp. Medelvärdet för samtliga mätningar i de tre mätomgångarna har varit 75, 20 resp 40 Bq/m<sup>3</sup> radon. Mätvärdena för de enskilda husen presenteras i tabell 4.2. Mätvärdenas frekvensfördelning presenteras i figur 4.2.

Fastighet	1985	1982	1981
M2	-	10	-
M4	20	10	-
M6	20	10	-
M8	20	10	-
M10	160	10	-
M12	60	10	-
M14	20	30	-
M16	40	15	-
M18	20	10	-
M20	20	15	-
M22	60	10	-
M24	70	10	-
L2	70	25	-
L4	60	15	-
L6	-	10	-
L8	100	110	-
L10	30	10	-
L12	170	30	-
L1	70	15	-
L3	-	15	40
L5	40	10	30
L7	170	10	20
L9	120	55	90
L11	-	70	300
L13	80	15	60
L15	70	25	30
L17	260	10	30

Tabell 4.2 Resultat av mätning av radon i nybyggda hus i Ljungsbro. Mätvärdena anges i Bq/m<sup>3</sup> radon och utgör i de flesta fall medelvärdet av två mätare i varje mätomgång.



Figur 4-2 Frekvensfördelning av radonhalt uppmätt i 27 villor i Ljungsbro.

I en del av husen kan mätvärdena från 1985 tolkas som om ett visst inflöde av markradon förekommer. Dessa enstaka mätvärden bör dock inte tillmätas alltför stor betydelse. Som påpekas i avsnitt 2.4.1. visade de utnyttjade detektorerna vid vår kvalitetskontroll vara mycket osäkra vid dessa låga nivåer. I hus L17 har senare, juni 1986 radondotterhalten mätts med filtermetod i tre rum. Mätningen skedde i helt slutet hus när familjen var bortrest. Resultatet blev 8, 9 och 10 Bq/m<sup>3</sup>, vilket stöder tolkningen att mätningen 1985 inte återspeglar de verkliga förhållandena.

Under mätningarna 1982 var ventilationsslangarnas öppningar igensatta med tejp i 17 hus medan de var öppna i 10 hus. I husen med öppna slangar uppmättes i medeltal 16 Bq/m<sup>3</sup> medan motsvarande siffra var 22 Bq/m<sup>3</sup> i gruppen av hus med stängda slangar. Denna skillnad kan inte anses vara signifikant. Slangarnas eventuella betydelse kunde därför inte fastställas. Det är troligt att de skulle ha haft en viss effekt om det förekommit otätheter och ett betydande inflöde av markradon i husen. Med några få undantag valde fastighetsägarna att driva den mekaniska frånluftanläggningen på lägsta varvtal. Anledningen till detta uppgavs vara att den annars orsakade obehaglig känsla av drag innanför tilluftdonen samt att man önskade minimera husens energiförbrukning.

Resultatet från mätningar i dessa två grupper av hus illustrerar att konstruktionen med platta på mark kan förhindra inflöde av markradon om genomföringar tätas och andra otätheter undviks. För att konstruktionen skall bli radonsäker kan den kompletteras tex med gummiassfalt på betongplattan samt förberedelse för ventilation eller undertryckshållning av kapillärbrytande skiktet under plattan. Syftet med det senare är att färdigställa och driva utrustningen för undertryckshållning under plattan endast i de hus som eventuellt efter inflyttning visar sig få ett bidrag genom inflöde av markluft. Kostnaden för dessa modifieringar ökar byggnadskostnaden med <0.5%.

#### 4.2. Ventilerade kryprum

Ett ventilerat utrymme mellan marken och bostaden innebär att det radon som eventuellt tränger upp ur marken kan avledas utan att tränga in i bostaden. Denna princip kan förutom vid ventilerade kryprum anses vara tillämplad vid ventilation av uppreglade trägolvv, se avsnitt 3.5, och vid separat ventilation av en källarvåning med tex garage i flerbostadshus.

Ventilation av kryputrymmet kan ges ett flertal olika detaljutformningar. Utrymmet kan ventileras med uteluft som tas in genom kattgluggar och släpps ut över tak. Denna ventilation kan utföras för självdrag eller förses med fläkt. Ett system baserat på självdrag kan lätt, om så befinnes nödvändigt, göras mer effektivt genom att installera en fläkt som suger luft i från-

luftkanalen. Kryputrymmet kan även ventileras med frånluft från bostaden. Detta sker mekaniskt och kan utföras så att kryputrymmet sätts under ett svagt övertryck eller undertryck relativt markluften. I rapporten över hus i Ekedalen visas hur radonhalten i bostaden behålls låg så länge kryputrymmet har lägre tryck än bostaden, även om radonhalten i kryputrymmet är mycket hög. Det visades även att vid undertryck i kryputrymmet kan tillflödet av radon från undergrunden vara så kraftigt att det inte är praktiskt möjligt att genom ökad ventilation av kryputrymmet späda ut radonet till rimlig koncentration. När kryputrymmet hålls vid något högre tryck än markluften är det rimligt att radonflödet upp ur marken begränsas till vad som med diffusion kan tränga upp från undergrundens ytskikt och att konvektivt flöde från större markvolymmer förhindras.

I Varnhem byggdes 1981 två villor med syftet att helt eliminera risken för inflöde av markradon. Den ena, A, försågs med helgjuten, kantförstyvad betongplatta under en krypgrund som ventilerades med kattgluggar och självdrag över tak. I den andra gjöts betongplatta mellan sulorna i kryputrymmet som ventilerades mekaniskt med frånluft från bostaden. I bägge husen placerades ett par provtagningskranar i betongplattorna så att prov på markluften under dessa kunde tas. Resultatet framgår av tabell 4.3.

mätning*	bostad	kryputrymme	undergrund
<u>HUS A</u>			
<u>ZnS</u> juli 1981		70	300.000
			270.000
ZnS 6 august 1981			340.000
			230.000
TLD juli-augusti 1981 20,30		70,90	
ZnS 28 augusti 1981			190.000
ZnS 18 maj 1982			127.000
			122.000
TLD maj-juni 1982	30,30	240	
<u>HUS B</u>			
<u>ZnS</u> 28 augusti 1981			120.000
			210.000
			270.000
ZnS 18 maj 1982			90.000
			259.000
			247.000
TLD maj-juni 1982	50,60		
TLD juni-juli 1982	50,100		
film i kopp 1985	40	120	

\* ZnS avser momentanprov med zinksulfidburk och TLD innebär integrerande mätning med TLinstrument ca 1 månad.

Tabell 4.3 Uppmätt radonhalt, Bq/m<sup>3</sup>, i bostad, kryputrymme och undergrund i två villor i Varnhem

Resultaten visar att betongplattan i sig har givit tillräckligt motstånd mot inflöde av markradon. Vid blandning med ett luftflöde lämpligt för att ventileras huset har det radon som passerar betongplattan blivit utspädd till en koncentration som skulle kunna accepteras i bostaden. Denna konstruktion skulle kunna göras ännu mer säker genom att betongen, särskilt intill ledningsgenomföringar och vid gjutskarvar, behandlades med tex gummiassfalt. Jämfört med konventionell grundläggning medförde dessa modifieringar merkostnader motsvarande ca 4 - 5% av byggnadskostnaderna.

I Skövde har vi följt upp 6 villor som försetts med asfaltstruken betongplatta i kryputrymmet i syfte att förhindra inflöde av markradon. Flertalet av villorna har mekanisk frånluft med värmeåtervinning i värmepump. Kryputrymmet ventileras enligt självdragsprincipen med en kanal som mynnar över tak och tilluftsdon i sockeln. Resultat av mätningar i dessa hus 1982 och 1985 har sammanställts i tabell 4.4.

hus	1985		1982		
	bostad	kryputrymme	bostad	kryputrymme	mark
1	20	-	15	-	92.500
2	100	140	10	-	49.900
3	140	-	10	-	61.400
4	20	-	10	-	36.800
5	50	260	10	511	86.000, 77.000
6	100	140	10	431	58.200

Tabell 4.4 Radonhalt, Bq/m<sup>3</sup>, i hus med asfaltstruken betongplatta i kryputrymmet.

Mätvärdena 1985 i bostaden är medelvärde av två mätningar med film i kopp. Motsvarande från 1982 är medelvärde av två mätningar med TLD-instrument. Skillnaden mellan de två mätomgångarna kan inte anses vara signifikant. Resultaten 1985 i hus 2 och 6 skulle innebära att huvuddelen av all luft som passerade bostaden kommer in via kryputrymmet, vilket inte förefaller rimligt trots att bostaden har ett visst undertryck från den mekaniska frånluftventilationen.

Inom projektet har vi mätt radonhalten i 28 nybyggda småhus grundlagda med Ytongs Varmgrund på som det bedömdes radonfarlig mark i Skara, Skövde och Lanna. Resultaten av dessa mätningar har sammanställts i tabell 4.5.



Fastighet	vent.*	radonhalt 1985		tidigare radonmätning		
		bostad	kryputr	bostad	kryputr	mark
1		80	-			
2		120	220			
3		20	nd			
4		40	80			
5		20	80			
6		70	nd			
7		30	20			
8		100	380			
9		110	1.860	70	1.600	
10		100	840	30	1.280	
11		30	760	20	770	
12		50	720	30	3.410	
13		80	4.200	50	5.380	
14		120	660	30	90	
15	plattvx	170	460	300	1.275	
16	"	-	-	75	1.300	106.000
17	"	70	620	10	300	43.400
18	"	100	680	50	169	120.000
19	"	50	-	20	-	66.500
20	"	50	820	25	1.982	168.000
21	vp	940	-	25	4.600	19.500
22	vp	20	40	20	545	107.000
23	vp	100	380	10	1.195	62.000
24	vp	30	140	20	-	32.000
25	vp	-	-	20	-	101.000
26		200	-	100	-	17.400
27		-	-	70	125	
28		-	-	45	600	

\* plattvx innebär att värmen i frånluften växlas till tilluften efter det att den passerat genom kryputrymmet. Vp innebär att frånluften kyls med värmepump efter det att den passerat genom kryputrymmet.

Tabell 4.5 Resultat av radonmätning i 28 varmgrundshus.

Resultaten visar att konstruktionen förmår utestänga även höga radonhalter i mark eller kryputrymme från bostaden.

Tidiga mätningar i hus 15 visade klart högre radonhalt i bostaden än vad som kunde förklaras med radonavgivning från byggnadsmaterial samt mätfel. Vid detaljerade mätningar visade det sig att radon fördes in med tilluften. I olika tilluftsdon på övre våningen uppmättes vid ett tillfälle 600, 670 respektive 860 Bq/m<sup>3</sup> i tilluften. Orsaken till detta måste ha varit läckage i den plattvärmeväxlare som installerats för att överföra värme till tilluften från frånluften efter det att denna passerat genom kryputrymmet. Samtidigt uppmättes 1.275 Bq/m<sup>3</sup> i kryputrymmet, vilket innebär att läckaget i värmeväxlaren måste ha varit betydande och ventilationen i praktiken av typ återluft. Detta exempel illustrerar betydelsen av att undvika otätheter

på installationsdelar som för radonhaltig luft,  
särskilt där trycket på denna luft är högre än i  
bostaden.

## 5 SAMMANSTÄLLNING AV ERHÅLLNA RESULTAT VID UTPROVNINGEN AV BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER

### 5.1 Kontrollmätning med film i kopp

De nya och befintliga hus som på något sätt ingått i denna undersökning har erbjudits en radonmätning med film i kopp under våren 1985. Mätningen genomfördes på så vis att 2 å 3 filmer vardera distribuerades till 183 utvalda fastigheter. Från 150 fastigheter har filmerna återsänts och utvärderats. Fastighetsägarna har erhållit ett mätprotokoll gällande sin fastighet.

Mätmetoden som användes valdes med målsättningen att till en begränsad kostnad mäta så många fastigheter som möjligt med acceptabel onoggrannhet. I jämförande mätningar mellan olika passivt integrerande mätmetoder som AIB genomfört /Ericson 84/ visade sig Kodaks film LR typ II, monterad i en plastkopp, både spridningsmässigt och absolut sett uppfylla onoggrannhetskraven.

Strålskyddstjänst AB kunde leverera dessa filmer till lägsta möjliga kostnad.

Syftet med dessa mätningar har varit att kontrollera om någon förändring skett på radondotterhaltsnivån några år efter det att åtgärder vidtagits, dvs kan tidigare erhållna resultat verifieras.

Tiden från det att åtgärderna vidtagits och till kontrollmätningen varierar från ett halvt till tre år.

Fastigheterna uppdelades i nybyggda och befintliga hus med följande undergrupperingar. (Med nybyggda hus menas här de hus där man tagit hänsyn till markradonet vid utformningen av huset.)

#### Nybyggda hus (på högriskmark)

- \* Hus med platta på mark med svetsad aluminiumfolie
- \* Hus med platta på mark med överlappande aluminiumfolie
- \* Hus med krypgrund
- \* Hus med varmgrund
- \* Hus med kraftigare betongplatta och dräneringsslangar i kapillärbrytande skikt
- \* Referenshus där ingen speciell åtgärd vidtagits

#### Befintliga hus (på högriskmark)

- \* Hus där man endast tätat synliga sprickor och håligheter

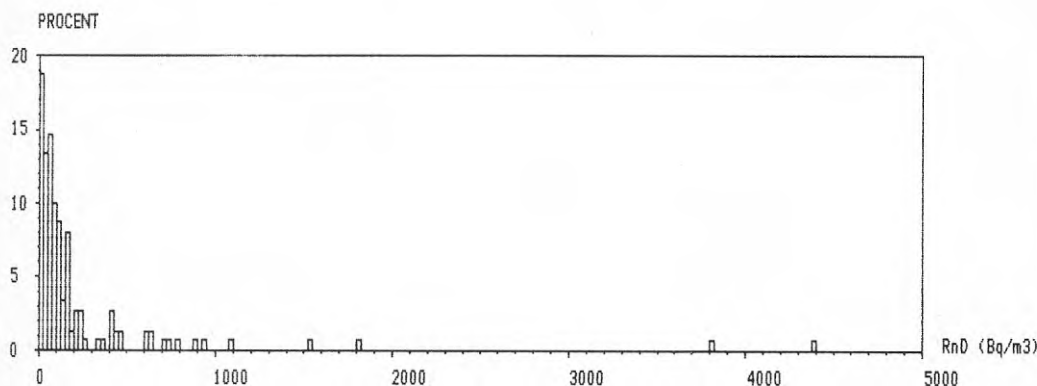
- \* Hus där man installerat golvsug (och tätat)
- \* Hus där man installerat mekanisk ventilation (och tätat)
- \* Hus där man installerat golvsug och mekanisk ventilation (och tätat)
- \* Hus där man installerat övergolvsventilation
- \* Hus där man installerat ventilation i krypgrunden
- \* Referenshus med förhöjda halter där inga åtgärder vidtagits.

Denna kontroll ger oss inte bara skalan på olika åtgärder mot radon och dess kontinuitet utan också hur de olika åtgärdernas samlade utfall ser ut, individuellt och i grupp. Genomför man en åtgärd är det inte säkert att man lyckas. Många gånger är skillnaden mellan misslyckande och framgång beroende på förmågan att fatta rätt beslut angående val av åtgärd och dess praktiska genomförande. Undviker man dessa är sannolikheten för ett gott utfall betydligt större.

Det viktiga är att resultat erhållits som visar att man kan göra något åt problemen och många gånger till en rimlig kostnad samt att åtgärderna fungerar även några år efter installationen. I en del hus leder åtgärder mot radon även till ett bättre inomhusklimat.

#### Det totala utfallet av kontrollmätningen

Frekvensfördelning av radondotterhaltens medelvärden för 150 småhus ingående i denna undersökning finns sammanställda i figur 5.1.1.



Figur 5.1.1 Frekvensfördelning i 150 småhus  
Filmmätningen våren 1985

Av dessa kan man se att den blandning av hus vi undersökt har ett medelvärde på radondotterhalten av  $195 \text{ Bq/m}^3$  Rnd. De undersökta husen ligger till övervägande del inom högriskområden.

Statens Strålskyddsinstitut har gjort en landsomfattande undersökning i småhus /Burén m fl 82/, varvid man erhölet ett viktat medelvärde för radondotterhalten på  $60 \text{ Bq/m}^3$  Rnd för hus byggda före 1976. Vid denna undersökning fann man också att småhus byggda före 1976 på mark med högre gammastrålningsnivå än  $30 \mu\text{R/h}$  hade ett medelvärde av  $170 \text{ Bq/m}^3$  Rnd.

Dessa värden kan dock inte direkt jämföras med de i denna undersökning då dessa hus är särskilt utvalda. Urvalet gällande de befintliga husen har gjorts med hänsyn till att de haft höga radonhalter inomhus. Vad gäller de nybyggda husen så har urvalet skett med hänsyn till att de byggts i högriskområden där man prövat olika metoder att förhindra markluftens inströmning.

I Strålskyddsinstitutets undersökning har man slumpmässigt valt husen varför både hus med och utan radonproblem finns med.

#### 5.1.1 Nybyggda hus

Filmmätningar har genomförts i 75 nybyggda hus med varierande förebyggande åtgärder och i 10 nybyggda hus där ingen förebyggande åtgärd vidtagits. Den senare gruppen är referenshus.

I tabell 5-1-1 redovisas erhållna medelvärden för de 85 husen uppdelade på åtgärdsgrupper och totalt för filmmätningen våren 1985 samt för mätningar utförda t o m 1984.

Tabell 5-1-1 Uppmätta radondottermedelhalter för olika förebyggande åtgärdsgrupper i nybyggda hus vid filmmätningen våren 1985 och mätningar t o m 1984

Åtgärdstyp*	Antal hus	Radondottermedelhalt ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	
		våren 1985	t o m 1984
Mek vent (F)	1	160 (1)	290 (1)
Mek vent (FTX)	3	210 (3)	240 (3)
Golvsugar (GS)	5	50 (5)	20 (5)
Slangar under betongplatta	23	40 (23)	10 (23)
Krypgrund	10	60 (10)	10 (9)
Varmgrund	24	70 (24)	30 (23)
Svetsad al-folie	3	110 (3)	180 (3)
Överlapp al-folie	6	180 (6)	230 (6)
Referenshus	10	90 (10)	240 (10)
Alla	85	80 (85)	80 (83)

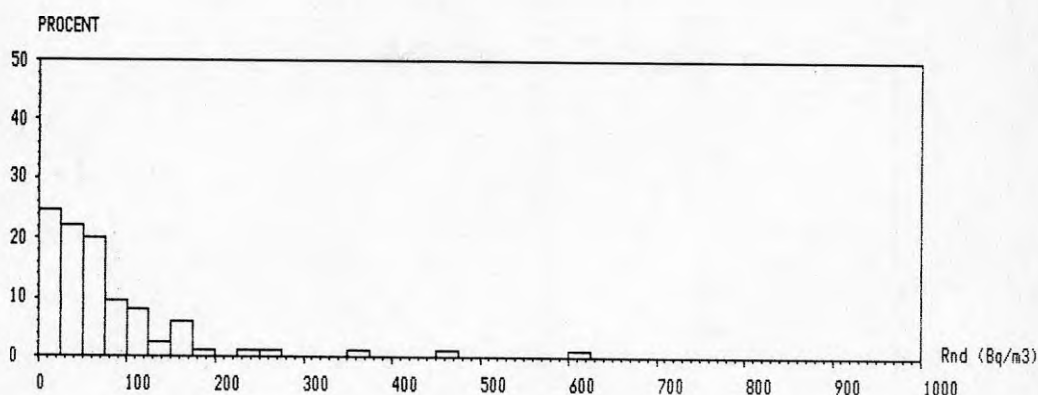
\* Se kapitel 3 och 4.

Av dessa resultat framgår att medelvärdet vid filmmätningen våren 1985 är  $80 \text{ Bq}/\text{m}^3$  med en median av ca  $50 \text{ Bq}/\text{m}^3$ .

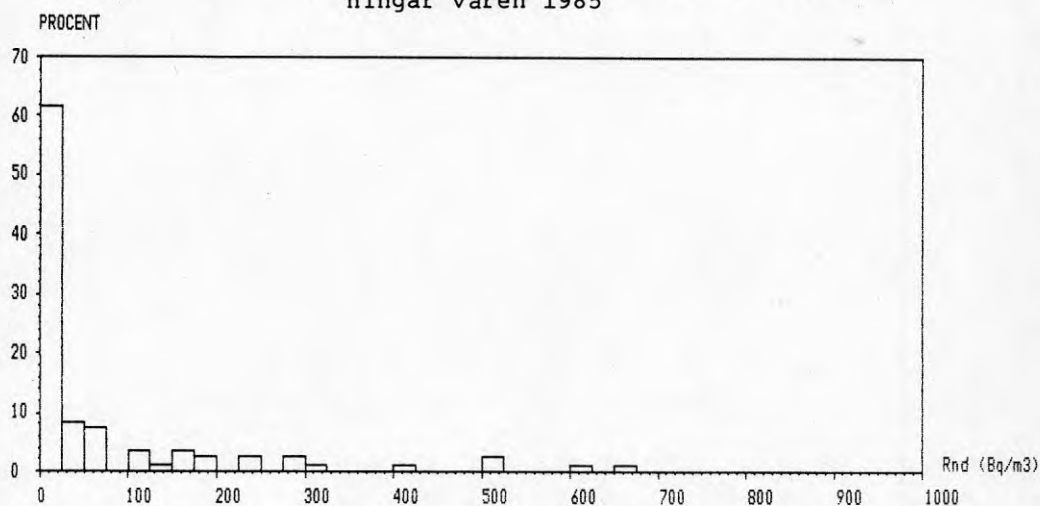
De mätningar som genomförts i dessa fastigheter efter färdigställandet ger samma medelvärde. Tittar man närmare på de enskilda grupperna ser man att förändringar skett. Vissa grupper är emellertid så små att förändringarna inte är statistiskt signifikanta. Anmärkningsvärt är att referenshusen, som ursprungligen var referenshus för aluminiumfoliehusen vid filmmätningen våren 1985, mer än halverat radondotterhalten.

Av de förebyggande åtgärderna för nybyggda hus hade man förväntat sig att finna större skillnader mellan olika åtgärdstyper. Mätresultaten visar emellertid att kännedomen om radonproblemen gjort att man vid byggandet troligen varit noggrannare med grundläggningen och undvikit förbindelser mellan hus och mark. Detta har lett till att vissa förebyggande åtgärder inte kommer att träda i funktion förrän det på grund av sprickbildningar i grundläggningen uppstår aktiva transportvägar för markradon.

I figur 5.1.2 och 5.1.3 redovisas frekvensfördelningen för de nybyggda husen för filmmätningen våren 1985 resp mätningar t o m 1984 av radondotterhalten.



Figur 5.1.2 Frekvensfördelning av radondotterhalter för 85 nybyggda hus vid filmmätningar våren 1985



Figur 5.1.3 Frekvensfördelning av radondotterhalter för 83 nybyggda hus vid mätningar t o m 1984

### 5.1.2 Befintliga hus

Filmmätning har ägt rum i 56 befintliga småhus där åtgärder mot radon vidtagits och i 8 befintliga småhus där ingen åtgärd vidtagits.



I tabell 5-1-2 redovisas erhållna medelradondotterhalter för de befintliga småhusen uppdelade på åtgärdsgrupper och totalt för filmmätningen våren 1985 och för mätningar gjorda före och efter att åtgärd vidtagits.

Tabell 5-1-2 Uppmätta radondottermedelhalter för befintliga småhus uppdelade på åtgärdsgrupp vid filmmätningen våren 1985 och mätningar gjorda före och efter att åtgärd vidtagits

Åtgärdstyp*	Antal Radondottermedelhalt (Bq/m <sup>3</sup> )			
	hus	våren 1985	efter	före
Mek vent (FTX)	11	280 (11)	250 (7)	1200 (9)
Mek vent m golvsug	5	90 (5)	153 (3)	2300 (5)
Undertrycksvent av mark/golvsug	32	220 (32)	190 (31)	1700 (30)
Övertrycksvent av mark	1	150 (1)	-	740 (1)
Krypgrundsvvent	2	210 (2)	70 (1)	1000 (2)
Ökat självdrag	1	230 (1)	100 (1)	230 (1)
Tätning	1	170 (1)	-	560 (1)
Övergolvsvent	3	320 (3)	300 (2)	1990 (3)
Alla med åtgärder	56	230 (56)	200 (45)	1750 (52)
Referenshus	8	830 (8)	-	910 (8)

\* Se även kapitel 3.

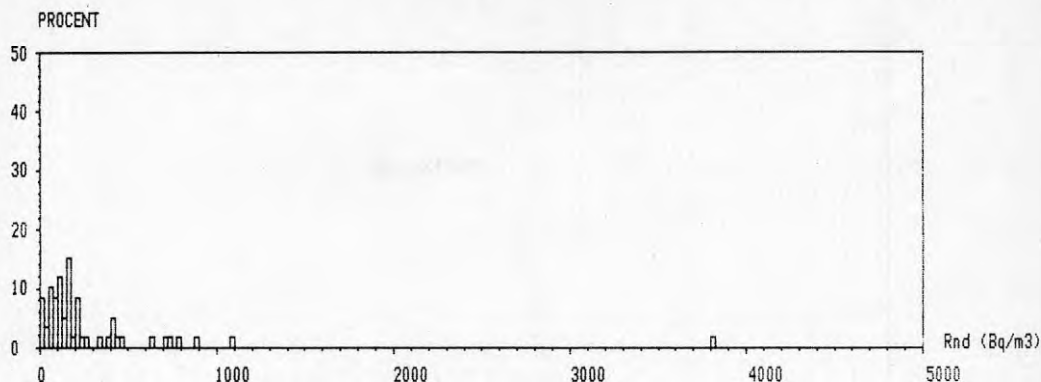
Av dessa resultat framgår att medelvärdet på radondotterhalten för de befintliga småhusen med vidtagna åtgärder vid filmmätningen våren 1985 är ca 290 Bq/m<sup>3</sup> Rnd med en median av ca 150 Bq/m<sup>3</sup> Rnd.

Jämför man radondotterhalt före åtgärd och vid filmmätningen ser man att man genom vidtagna åtgärder sänkt radondotterhalten med i medeltal 83 %, vilket är ett mycket bra resultat.

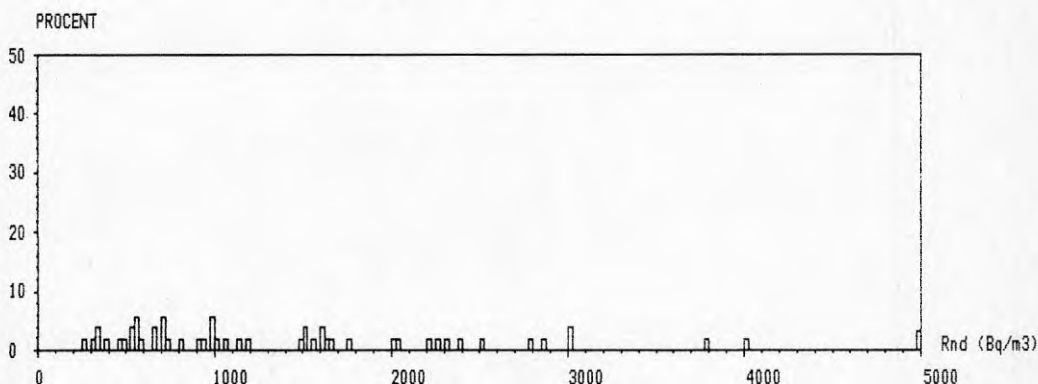
För referenshusen visar resultatet att kännedomen om den höga radondotterhalten möjligen kan ha haft en marginell inverkan men det ligger inom mätningarnas felmarginall.

Av tabell 5-1-2 framgår att den åtgärdsmetod som blivit mest prövad är undertrycksventilering av marken med en s k golvsug. Resultatet av golvsugsinstallationerna kommer att visas mera i detalj senare.

I figur 5.1.4 och 5.1.5 redovisas frekvensfördelningen för de befintliga småhusen för filmmätningen våren -85 resp mätningar före åtgärd av radondotterhalten.



Figur 5.1.4 Frekvensfördelning av radondotterhalter för 57 befintliga småhus med radonåtgärder vid filmmätningen våren 1985



Figur 5.1.5 Frekvensfördelning av radondotterhalter för 53 befintliga småhus före radonåtgärd vid mätningar t o m 1984

#### Golvsugningsinstallationer

Golvsugningsinstallationer har utförts i över 40 fastigheter. I vissa fall har golvsugen kompletterats med ventilationsanläggning. I andra fall har en ventilationsanläggning, som installerats mot radon, kompletterats med golvsug.

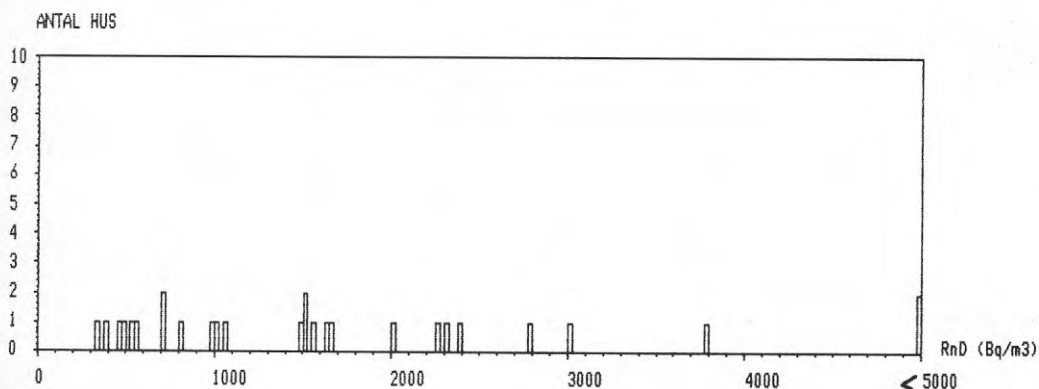
Av dessa har radondotterhalten i 30 enfamiljsfastigheter med endast golvsug uppmätts före och direkt efter installation samt vid den av AIB genomförda kontrollmätningen våren 1985. Fördelningen redovisas i figurerna 5.1.6 till 5.1.8.

Medelvärdet på radondotterhalten för dessa fastigheter var före golvsugsinstallation, dvs vid den

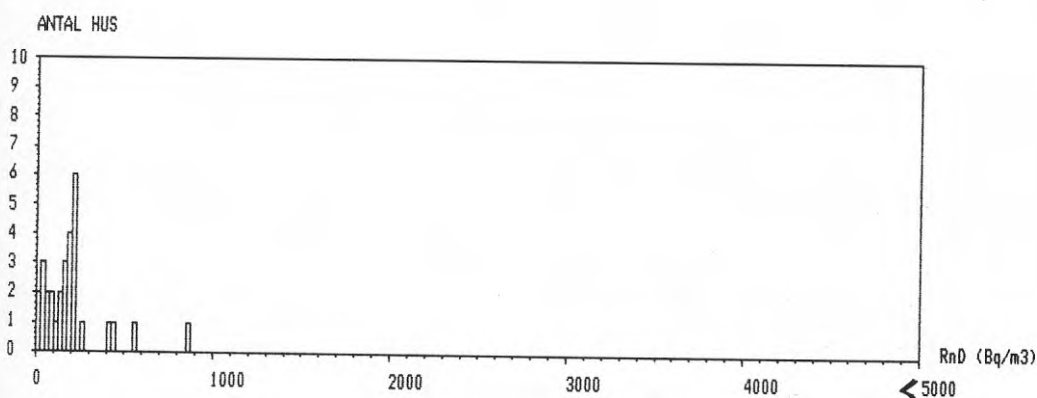
mätning där problemet med markradon upptäcktes, 1770 Bq/m<sup>3</sup> Rnd.

De mätningar som genomförts i samband med kontroll av golvsugens inverkan gav medelvärdet 190 Bq/m<sup>3</sup> Rnd för fastigheterna. Reduktionen av radondotterhalten motsvarade 89 %.

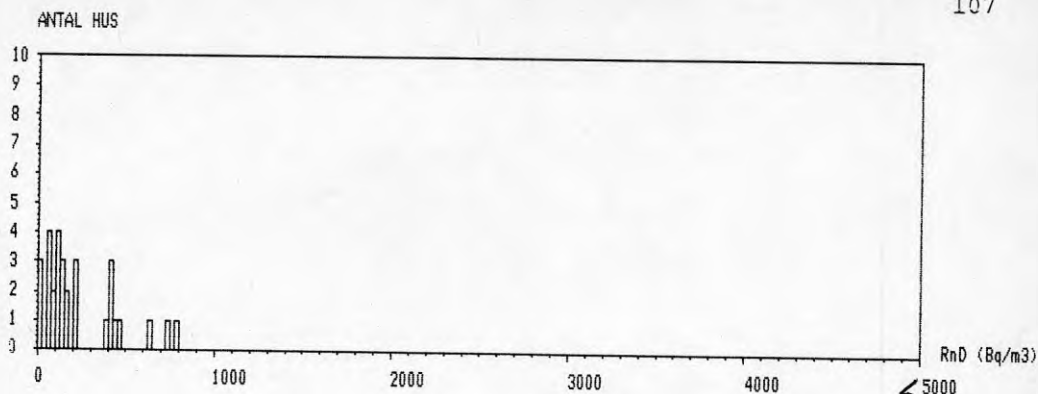
Kontrollmätningarna som genomfördes våren 1985 gav medelvärdet 230 Bq/m<sup>3</sup> Rnd. Detta motsvarar en radondotterreduktion av 87 %.



Figur 5.1.6 Frekvensfördelning av radondotterhaltsmedelvärdena före installation av golvsug i 27 hus



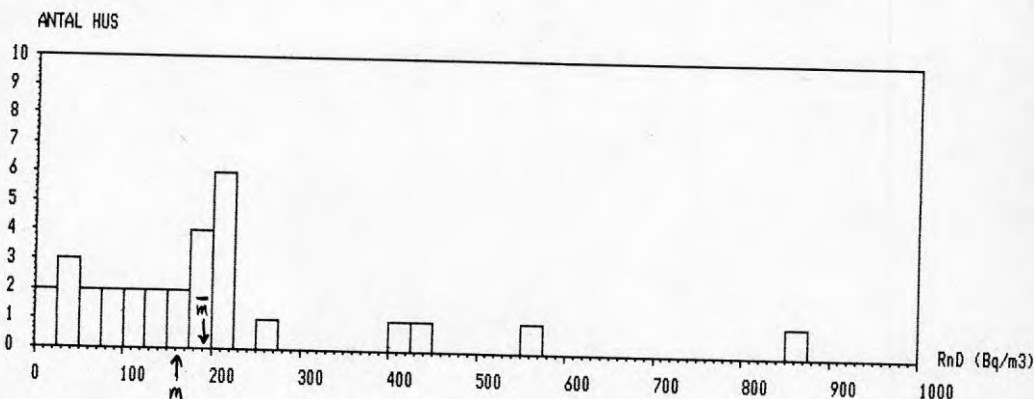
Figur 5.1.7 Frekvensfördelning av radondotterhaltsmedelvärdena efter installation av golvsug i 30 hus



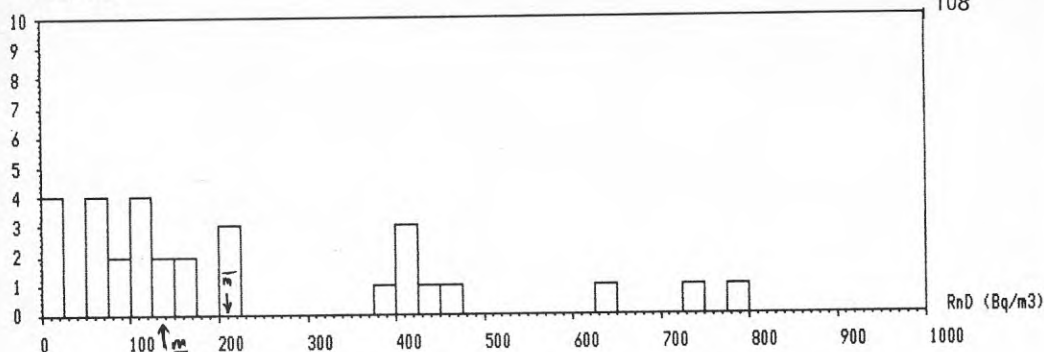
Figur 5.1.8 Frekvensfördelning av radondotterhaltssmedelvärdena vid filmmätning våren 1985 i 30 hus

Rent teoretiskt skulle alltså radondotterhaltsreduktionen för dessa fastigheter ha försämrats med 2 % vid den senaste mätningen. Denna slutsats kan man inte dra av dessa mätningar då onoggrannheten i mätmetoderna är av samma storleksordning som erhållen differans. Varje försök att mäta medelvärdet för dessa fastigheter skulle med stor sannolikhet uppvisa en spridning motsvarande den här uppkomna.

Av fördelningen på radondotterhalten mellan husen vid de båda mätningarna efter installation av golvsugen framgår att 4 st, dvs 13 % av husen, hade en radondotterhalt överstigande 400 Bq/m<sup>3</sup> Rnd direkt efter installationen. Vid mätningen våren 1985 har husen ökat till 8 st, dvs 26 % av husen hade en radondotterhalt överstigande 400 Bq/m<sup>3</sup> Rnd. Ingen av fastigheterna hade dock en radondotterhalt som översteg den ursprungligt uppmätta. Se figur 5.1.9 och 5.1.10.



Figur 5.1.9 Frekvensfördelning efter installation av golvsug för 30 hus (4 st = 13 %)



Figur 5.1.10 Frekvensfördelning efter installation av golvsug för 30 hus våren 1985 (8 st = 26%)

Det framgår att golvsugsinstallation som åtgärd mot markradon mycket effektivt sänker de extremt höga halterna till en nivå under  $1000 \text{ Bq/m}^3$  Rnd.

Den radondotterhalt som i förekommande fall återstår kommer dels från byggnadsmaterialet och dels från marken. För att komma tillrätta med husen som fortfarande har förhöjda halter bör man i första hand försöka justera golvsugen i den mån det är möjligt. I andra hand med balanserad till- och frånluftsventilation, gärna med värmeåtervinning, späda ut resterande halter till acceptabla nivåer.

Golvsugsinstallationernas resultat visar att kontinuitet över tiden kan erhållas.

Som jämförelse och kontroll av golvsugsinstallationerna har 8 hus, i vilka normalt borde ha installerats golvsug men detta av någon anledning inte gjorts, kontrollmätts för att undersöka om radondotterhalten påverkats efter fastighetsägarens kännedom om husets höga radondotterhalter.

Medelhalten för dessa fastigheter var vid tidigare mätningar  $910 \text{ Bq/m}^3$  Rnd. Vid kontrollmätningen våren 1985 blev den  $830 \text{ Bq/m}^3$ . Någon förbättring av betydelse har alltså inte skett vilket styrker golvsugsinstallationernas goda resultat.

Radondotterhalten har i medeltal sänkts med  $1540 \text{ Bq/m}^3$  för dessa 30 fastigheter med i medeltal ca 3 st boende.

Installation av golvsug har i medeltal kostat ca 10.000 kr. Med effektiv dosekvivalent, enligt UNSCEAR 82, på  $0,08 \text{ mSv/Bq}\cdot\text{år/m}^3$  erhålles en kostnad per mSv dosreduktion på 2 kr. Detta är i strål-skyddssammanhang en mycket låg kostnad och motsvarar teoretiskt 100.000 kr per undviket dödsfall i lungcancer och ca 6.000 kr per år i utebliven livslängdsförkortning.

Denna mätvecka har haft till syfte att undersöka huruvida vidtagna åtgärder mot markradon fungerar i tekniskt hänseende.

### Bakgrund

I detta projekt har installation av golvsugar initierats och utvärderats preliminärt och då befunnits fungera väl med några undantag.

Golvsugarnas funktion och verkningssätt har beräknats med modeller och visat sig teoretiskt fungera även i relativt täta jordmaterial (morän).

Detta anslag har i ett område finansierat installation av golvsugar utförda på ett likartat sätt lämpliga att undersöka för jämförelse.

Vår målsättning har varit att genom fältmätningarna verifiera de teoretiska beräkningarna och att samtidigt se om och hur avvikelser förekommer.

Fyra hus har valts ut där man under en vecka företagit kontinuerlig mätning av radon- och radondotterhalt. Under denna vecka har golvsugarnas inställning ändrats så att man trappat ner fläktarbetet från max till min, varefter man stängt av dem helt.

Dessutom har momentana radon- och radondotterhalter uppmätts någon gång vid de olika inställningarna för att beskriva fördelningen av radon- och radondotterhalten i huset.

Vad gäller själva golvsugen så är tryckfördelningen mellan sugpunkterna intressant då den talar om huruvida trycket (flödet) är jämnt fördelat i marken under huset.

Den totalt uppsugna markluften, dess radonhalt och temperatur har uppmätts för att avgöra hur stor radioaktivitet man får upp med golvsugen och hur stor del av jordlagren golvsugen påverkar då man antar en viss normal radonavgång.

Vi har dessutom undersökt tre stycken hus där man installerat ventilationssystem typ FTX som åtgärd mot radon från marken i första hand. Eventuellt bidrag från byggnadsmaterialet kan också förekomma.

Ventilationsanläggningarna har undersökts med tyngdpunkt på funktion, flöden och energikonsumtion. Radon- och radondotterhalter har uppmätts med momentana mätare för att kontrollera dess radonsänkande funktion.



Dessutom har aggregatens inverkan på undertrycket i husen undersökts för att utröna om de balanserar uttrycket mot marken så att även inflödet av markradon minskar.

Varje hus redovisas dessutom i en husnyckel på 10 punkter enligt följande:

#### FÖRKLARINGAR - HUSNYCKEL

##### 1. GEOLOGI

Här anges huvudsakligen förhållanden på platsen med hänsyn till permeabiliteten.

##### 2. HUSTYP

##### 3. BYGGNADSMATERIAL

Här anges huvudsakligt byggnadsmaterial.

##### 4. VENTILATION

F = frånluft, FT = från- och tilluft, FTX = från- och tilluft med värmeåtervinning. Luftomsättning per timme för bostad och källare anges samt medelundertrycket i bostaden jämfört med utomhus.

##### 5. RADONHALT FÖRE

Här anges radonhalt före åtgärd och om radon- eller radondotterhalt uppmätts. HUS = medelvärde för huset, BOSTAD = halt i bostadsdel utom källare/ souterräng, KÄLLARE = halt i källare/souterräng.

##### 6. ÅTGÄRD

TÄTNING = tätning av koncentrerat infiltrationsställe, FOLIE = tapetsering med Al-folie e dyl, GOLVSUG = undertrycksventilering av kapillärbrytande skikt, ÖKAT SJÄLVDRAG = borttagning av tätningslister m m, F = installation av frånluftsventilation, FTX = installation av från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning, KRYPPGRUND VENT = mekanisk ventilation av kryppgrund.

##### 7. RADONHALT EFTER

Se punkt 5

##### 8. LUFTOMSÄTTNING EFTER

Se punkt 4

##### 9. KOSTNADSEFFEKTIVITET

Här anges effektiviteten av utförda åtgärder ur strålskyddssynpunkt. KOSTNAD = total kostnad för åtgärd, REDUKTION = radondotterhaltssänkning i  $\text{Bq/m}^3$ , ANTAL PERS = antal personer som bor i huset, EFFEKTIVITET = kostnad per inbesparad stråldos per år, sett på 20 års sikt med 2 % drifts- och underhållskostnad per år.

##### 10. DIAGNOS

Här anges svårighetsgraden att ställa en riktig diagnos på husets radonstatus.

## HUSNYCKEL

1. GEOLOGI	
GRUS & SAND	<input type="checkbox"/>
MORÄN	<input type="checkbox"/>
LERÄ	<input type="checkbox"/>
BERG	<input type="checkbox"/>

2. HUSTYP	
1-PÅN	<input type="checkbox"/>
2-PÅN	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE	<input type="checkbox"/>
SOUTERRÄNG	<input type="checkbox"/>
KRYPGRUND	<input type="checkbox"/>

3. BYGGNADSMATERIAL	
TRÄ	<input type="checkbox"/>
BETONG	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG VIT	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG BLÅ	<input type="checkbox"/>

4. VENTILATION	
SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FT	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
LUFTOMSÄTTNING:	
BOSTAD	oms/h
KÄLLARE	oms/h
UNDERTRYCK	Pa

5. RADONHALT FÖRE	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input type="checkbox"/>
HUS	Bq/m <sup>3</sup>
BOSTAD	Bq/m <sup>3</sup>
KÄLLARE	Bq/m <sup>3</sup>
MARK (Rn)	kBq/m <sup>3</sup>

6. ÅTGÄRD	
TÄTNING	<input type="checkbox"/>
FOLIE	<input type="checkbox"/>
GOLVSUG	<input type="checkbox"/>
VENTILATION	<input type="checkbox"/>
ÖKAT SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
KRYPGRUND VENT	<input type="checkbox"/>

7. RADONHALT EFTER	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input type="checkbox"/>
HUS	Bq/m <sup>3</sup>
BOSTAD	Bq/m <sup>3</sup>
KÄLLARE	Bq/m <sup>3</sup>
REDUKTION	%

8. LUFTOMSÄTTNING EFTER	
BOSTAD	oms/h
KÄLLARE	oms/h
UNDERTRYCK	Pa

9. KOSTNADSEFFEKTIVITET	
KOSTNAD	kkr
REDUKTION	Bq/m <sup>3</sup>
ANTAL PERS	st
EFFEKTIVITET	kr/mSv

10. DIAGNOS	
LÄTT	<input type="checkbox"/>
NORMAL	<input type="checkbox"/>
SVÅR	<input type="checkbox"/>
MYCKET SVÅR	<input type="checkbox"/>

## HUS A

Denna fastighet är ett enplanshus utan källare beläget på en grusåsmorän. Huset saknar bottenplatta och har istället ett trägolv lagt direkt på en singelbädd. I singelbädden finns en diffusionsspärr bestående av tjärat papper. Huset har en tillbyggnad med platta på mark.

Tidigare mätningar visade på en radondotterhalt på ca  $4000 \text{ Bq/m}^3 \text{ RnD}$ .

### Ventilering av dräneringsslangar som radonåtgärd

Efter att ha beskrivit olika åtgärdsalternativ i brev av 840704 skissades en lösning som på grund av lokala förhållanden inte provats tidigare. Den gick ut på att skapa ett diffust undertryck i marken under huset genom att med en fläkt undertryckssätta dräneringsslangarna runt huset. Detta för att undvika att suga lokalt, vilket kan medföra fuktskador då huset saknar bottenplatta.

### Radondotterhalt

Efter att fastighetsägaren installerat fläkten och den varit i drift ett tag genomfördes en mätning av radondotterhalten med det kontinuerligt registrerande instrumentet WLM-300. Mätningen genomfördes under perioden 21/11 kl 10<sup>00</sup> - 26/11 kl 10<sup>15</sup> 1984 (ca 110 h) i vardagsrummet.

Mättiden indelades i tre olika perioder där fläkten från början hade 50 % kapacitet som efter ca ett dygn ändrades till 100 % för att under den sista perioden stängas av helt.

Resultatet (se figur 5.2.1) visade sig vara bättre än väntat men ändå inte tillräckligt bra för att klara gränsvärdet för sanitär olägenhet,  $400 \text{ Bq/m}^3 \text{ RnD}$ . Med 50 % kapacitet erhöles ett medelvärde av ca  $1200 \text{ Bq/m}^3 \text{ RnD}$ . När kapaciteten ökades till 100 % sjönk halten ner till ca  $600 \text{ Bq/m}^3 \text{ RnD}$ . Efter att fläkten stängts av ökade halten snabbt till en nivå mellan 3000 och  $4500 \text{ Bq/m}^3 \text{ RnD}$ .

Vid mätning på platsen visade sig fläkten vid 50 % kapacitet kunna upprätthålla 250 Pa undertryck, vilket ökade till 400 Pa vid 100 %. Enligt fläktdata motsvarar detta ett luftflöde av 150 resp  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  med en effektförbrukning av 110 resp 120 W (dvs ca  $1000 \text{ kWh/år} = 300 \text{ kr i driftskostnad per år}$ ).

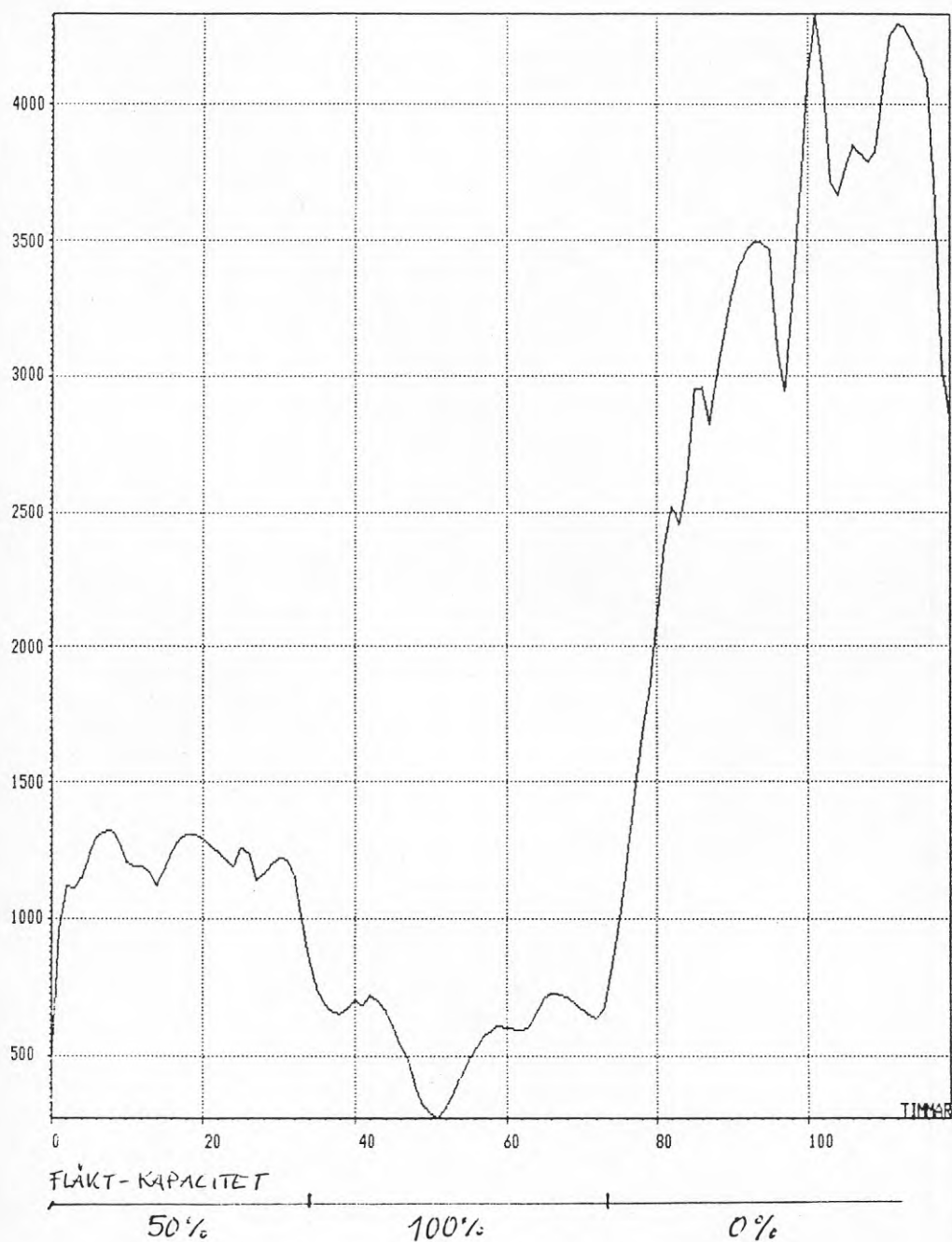
### Förslag till ytterligare åtgärder

För att reducera radondotterhalten ytterligare kan man möjligen byta till en fläkt med större kapaci-

tet, vilket dock kan medföra vissa byggnadstekniska risker (ev fuktproblem). Man skulle kunna prova att trycka ner luft i stället för att suga, men detta torde ha ungefär samma effekt.

Ökad ventilation i huset reducerar med säkerhet halterna till en acceptabel nivå. Detta bör göras med balanserad ventilation med värmeåtervinning, som dock har en hög investeringskostnad (30 - 50 kkr) och i detta fall är något svår att installera men i längden vinner på sin lägre energiförbrukning om anläggningen underhålls. Då huset är ca  $140 \text{ m}^2$  bör det ventileras med ca  $350 \text{ m}^3/\text{h}$ , dvs ca 1 luftomsättning per timme. Man bör då hamna på en radondotterhalt väl under  $200 \text{ Bq/m}^3 \text{ RnD}$  med erhållna mätvärden som utgångspunkt ( $600 \text{ Bq/m}^3 \text{ RnD}$ ).

RnD Bq/m3



Figur 5.2.1 Radondotterhalt för HUS A vid undertryck i dräneringsslangar

## HUS A

## HUSNYCKEL

## 1. GEOLOGI

GRUS & SAND	<input checked="" type="checkbox"/>
MORÄN	<input checked="" type="checkbox"/>
LERA	<input type="checkbox"/>
BERG	<input type="checkbox"/>

## 2. HUSTYP-

1-PLAN	<input checked="" type="checkbox"/>
2-PLAN	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE	<input type="checkbox"/>
SOUTERRÄNG	<input type="checkbox"/>
KRYPGRUND	<input type="checkbox"/>

## 3. BYGGNADSMATERIAL

TRÄ	<input checked="" type="checkbox"/>
BETONG	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG VIT	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG BLÅ	<input checked="" type="checkbox"/>

## 4. VENTILATION

SJÄLVDRAG	<input checked="" type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FT	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
LUFTOMSÄTTNING:	
BOSTAD oms/h	
KÄLLARE oms/h	
UNDERTRYCK Pa	

## 5. RADONHALT FÖRE

Rn	<input type="checkbox"/>	RnD	<input checked="" type="checkbox"/>
HUS	4000	Bq/m <sup>3</sup>	
BOSTAD		Bq/m <sup>3</sup>	
KÄLLARE		Bq/m <sup>3</sup>	
MARK (Rn)		kBq/m <sup>3</sup>	

## 6. ÅTGÄRD

TÄTNING	<input type="checkbox"/>
FOLIE	<input type="checkbox"/>
GOLVSUG	<input checked="" type="checkbox"/>
VENTILATION	<input type="checkbox"/>
ÖKAT SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
KRYPGRUND VENT	<input type="checkbox"/>

## 7. RADONHALT EFTER

Rn	<input type="checkbox"/>	RnD	<input checked="" type="checkbox"/>
HUS	600	Bq/m <sup>3</sup>	
BOSTAD		Bq/m <sup>3</sup>	
KÄLLARE		Bq/m <sup>3</sup>	
REDUKTION	85	%	

## 8. LUFTOMSÄTTNING EFTER

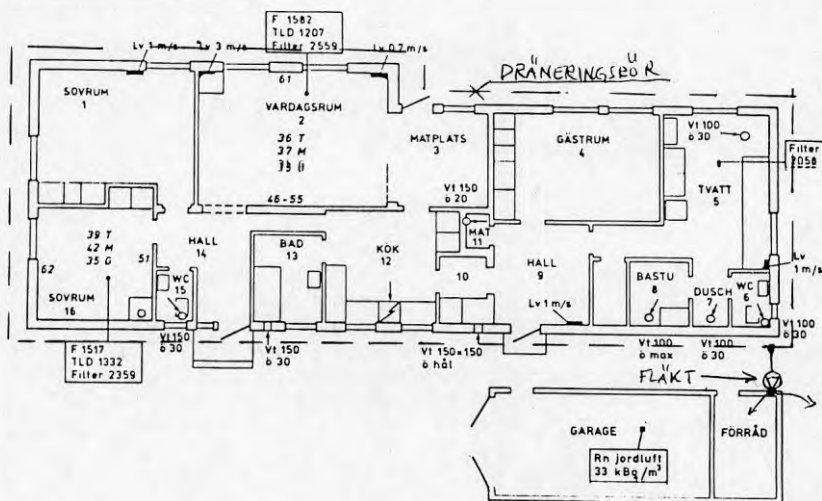
BOSTAD	oms/h
KÄLLARE	oms/h
UNDERTRYCK	Pa

## 9. KOSTNADSEFFEKTIVITET

KOSTNAD	5	kkr
REDUKTION	3400	Bq/m <sup>3</sup>
ANTAL PERS	3	st
EFFEKTIVITET	0,50	kr/mSv

## 10. DIAGNOS

LÄTT	<input type="checkbox"/>
NORMAL	<input type="checkbox"/>
SVÅR	<input type="checkbox"/>
MYCKET SVÅR	<input checked="" type="checkbox"/>





## HUS B

Denna fastighet är ett tvåvånings bostadshus med källare, tillhörande en jordbruksfastighet, belägen i en svag sluttning ner mot vatten. I källaren har betongplattor gjutits i efterhand direkt på jordlagret under huset för att öka boendeytan.

Tidigare mätningar visade på att radonhalten i källarplanet låg på ca 10 000 Bq/m<sup>3</sup> och på ca 2 000 Bq/m<sup>3</sup> på plan 2.

Golvsug

En golvsug som suger på 4 ställen i källarplanet installerades. Preliminära mätningar visade att radonhalten sjunkit till ca 500 Bq/m<sup>3</sup> i källarplanet och till ca 200 Bq/m<sup>3</sup> på plan 2.

Golvsugen suger totalt upp ca 26 m<sup>3</sup>/h 7-gradig markluft med en radonkoncentration på ca 150 - 200 kBq/m<sup>3</sup>.

I tabell 5-2-1 redovisas golvsugens tryckfördelning.

Tabell 5-2-1 Uppmätt differenstryck mellan sugpunkter och huset

Sugpunkter i källarplan	Differenstryck i Pa		
	max	med	min
Sovrum	-110	-110	-90
Hobbyrum	-110	-110	-95
Matkällare	-90	-90	-70
1 m fr sugpunkt	-8	-4	-3
2 m fr sugpunkt	-12	-7	-8

Undertrycket inomhus uppmättes till ca (-) 5 - 6 Pa.

Mätningarna visar att trycket utbreder sig under betongplattan men att utbredningen i det undersökta fallet inte är jämn.

Radon- och radondotterhalt

Radon- och radondotterhalt som uppmätts momentant redovisas i tabell 5-2-2. Kontinuerlig radondotterhalt uppmätt i källaren visas i figur 5.2.2. Golvsugen stängdes av vid h = 70, varvid radondotterhalten visar en brant ökning. Golvsugens effekt är oberoende på dess inställning då trycket enligt tabell 5-2-1 inte ändrar sig speciellt mycket med inställningen. Detta beror troligen på att tyristorns inställda nollpunkt ligger för högt så att reglerområdet blir för litet.

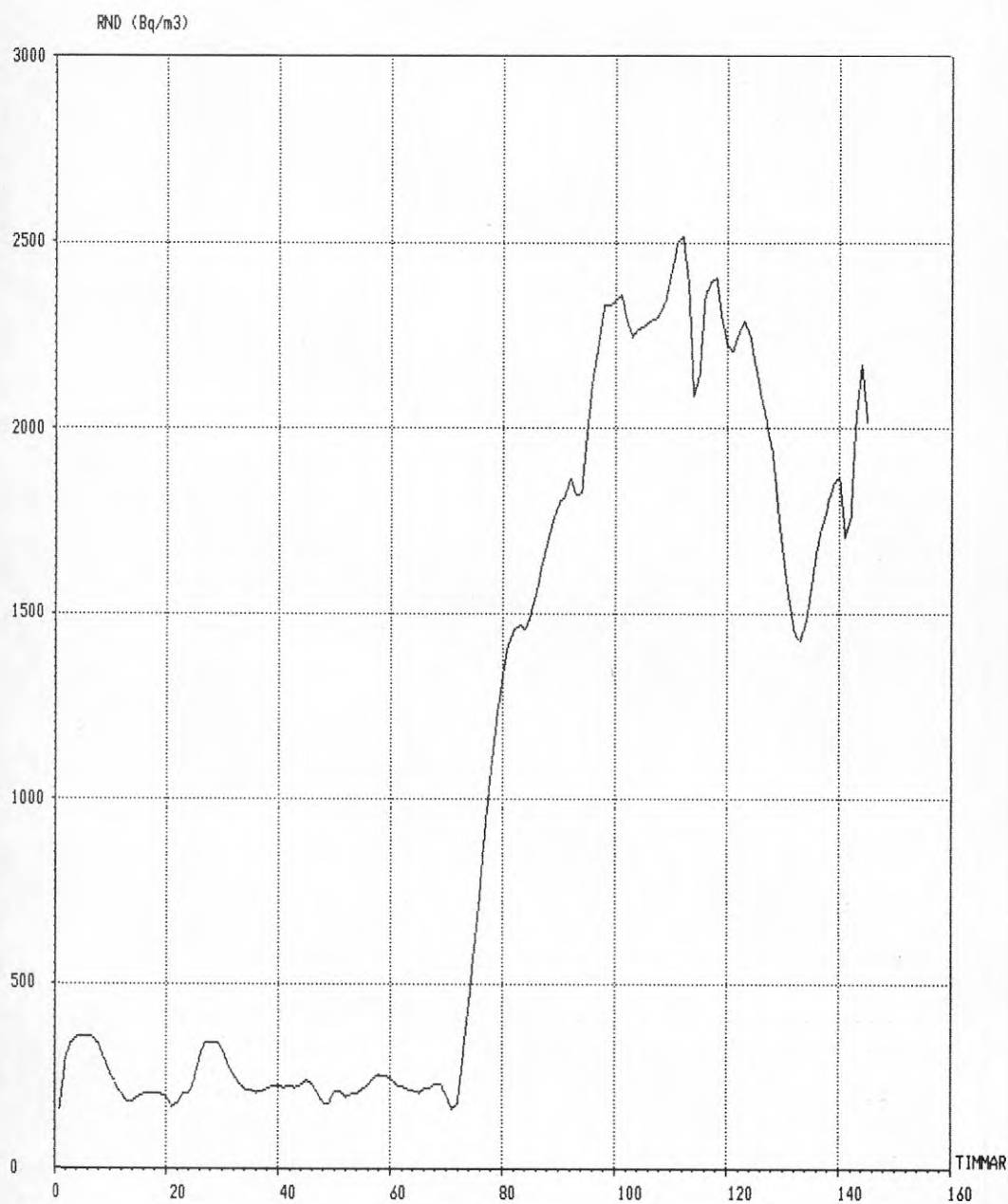
Av de kontinuerliga mätningarna ser vi att man vid jämviktsfaktorn 0,5 erhåller en radonhalt på ca 500 Bq/m<sup>3</sup> med golvsugen påsatt. Då golvsugen stängs av ökar halten till ca 4 000 Bq/m<sup>3</sup>. Således ger golvsugen en reduktion på 88 %. En mätning i det upptagna hålet i källaren visade att radonhalten på markluften då golvsugen var avstängd låg närmare 400 kBq/m<sup>3</sup>.

Tabell 5-2-2 Radon- och radondotterhalt (Bq/m<sup>3</sup>) och jämviktfaktor (F), momentan mätning med RDA 200, 1985, HUS B

Fläktinst:	Max	Max	Med	Avst	
Datum:	12/1	13/1	14/1	16/1	
Tid:	11 <sup>30</sup> -12 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup> -14 <sup>35</sup>	14 <sup>00</sup> -14 <sup>20</sup>	9 <sup>40</sup> -10 <sup>00</sup>	
Hobbyrum	-	182	200	2898	RnD
		0,32	0,31	0,51	F
	505	569	638	5723	Rn
Källare	-	160	110	1279	RnD
		0,22	0,22	0,29	F
	565	721	501	4429	Rn
Vardagsrum	-	146	164	1658	RnD
		0,54	0,54	0,48	F
	313	268	304	3482	Rn
Kök	-	121	41	1359	RnD
		0,67	0,37	0,53	F
	203	180	111	2571	Rn
Allrum 1 tr	-	111	130	1617	RnD
		0,41	0,38	0,51	F
	323	269	343	3199	Rn
Huset		145	130	1780	RnD
		0,36	0,34	0,46	F
	-	400	380	3880	Rn
Utblåsning markluft golvsug	172	202	147	380*	kBq/m <sup>3</sup>

\* Radonhalt under golv vid avstängd golvsug

HUS B



Figur 5.2.2 Radondotterhalt HUS B  
från 85-01-11, kl 15<sup>20</sup> till 85-01-17,  
kl 18<sup>40</sup>

HUS B

HUSNYCKEL

1. GEOLOGI	
GRUS & SAND	<input type="checkbox"/>
MORÄN	<input checked="" type="checkbox"/>
LERA	<input type="checkbox"/>
BERG	<input type="checkbox"/>

2. HUSTYP	
1-PLAN	<input checked="" type="checkbox"/>
2-PLAN	<input checked="" type="checkbox"/>
KÄLLARE	<input checked="" type="checkbox"/>
SOUTERRÄNG	<input type="checkbox"/>
KRYPGRUND	<input type="checkbox"/>

3. BYGGNADSMATERIAL	
TRÄ	<input checked="" type="checkbox"/>
BETONG	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG VIT	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG BLÅ	<input type="checkbox"/>

4. VENTILATION	
SJÄLVDRAG	<input checked="" type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FT	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
LUFTOMSÄTTNING:	
BOSTAD oms/h	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE oms/h	<input type="checkbox"/>
UNDERTRYCK Pa	<input type="checkbox"/>

5. RADONHALT FÖRE	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS 1780 Bq/m <sup>3</sup>	
BOSTAD 1545 Bq/m <sup>3</sup>	
KÄLLARE 2090 Bq/m <sup>3</sup>	
MARK (Rn) 200 kBq/m <sup>3</sup>	

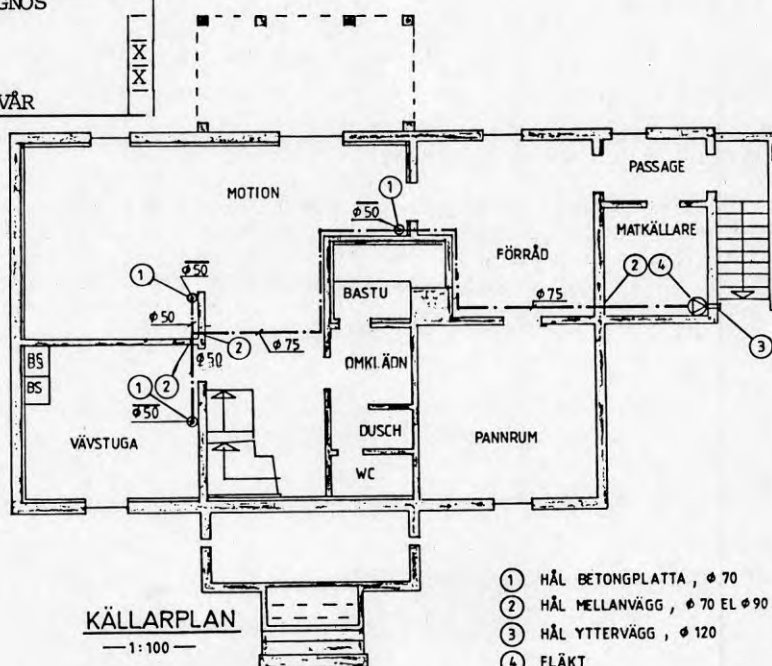
6. ÅTGÄRD	
TÄNING	<input type="checkbox"/>
FOLIE	<input type="checkbox"/>
GOLVSUG	<input checked="" type="checkbox"/>
VENTILATION	<input type="checkbox"/>
ÖKAT SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
KRYPGRUND VENT	<input type="checkbox"/>

7. RADONHALT EFTER	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS 140 Bq/m <sup>3</sup>	
BOSTAD 120 Bq/m <sup>3</sup>	
KÄLLARE 163 Bq/m <sup>3</sup>	
REDUKTION 92 %	

8. LUFTOMSÄTTNING EFTER	
BOSTAD oms/h	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE oms/h	<input type="checkbox"/>
UNDERTRYCK 6 Pa	<input type="checkbox"/>

9. KOSTNADSEFFEKTIVITET	
KOSTNAD 10 kkr	
REDUKTION 1640 Bq/m <sup>3</sup>	
ANTAL PERS 4 st	
EFFEKTIVITET 1,33kr/mSv	

10. DIAGNOS	
LÄTT	<input checked="" type="checkbox"/>
NORMAL	<input checked="" type="checkbox"/>
SVÅR	<input checked="" type="checkbox"/>
MYCKET SVÅR	<input type="checkbox"/>



## HUS C

Denna fastighet är ett enplanshus med källare beläget på en sandig morän med underliggande lager av alunskiffermorän. Husets källargolv har gjutits efter det att väggarna har byggts.

Gammastrålning

Genomförda gammamätningar visar inte på några förhöjda värden av gammastrålning.

Golvsug

I fastigheten har installerats en golvsug som totalt suger upp ca  $13 \text{ m}^3/\text{h}$  9-gradig markluft med en radonhalt av 160 - 200  $\text{kBq}/\text{m}^3$ . Man har i huset totalt tre stycken sugpunkter vars fördelning på differenstrycket redovisas i tabell 5-2-3.

Tyvärr har det kontinuerliga radon-/radondotterinstrumentet här inte fungerat.

Tabell 5-2-3 Uppmätt differenstryck mellan sugpunkter och huset, HUS C

Sugpunkter	Differenstryck i Pa			avst
	max	med	min	
Korridor	-220	-200	-145	
Tvättstuga	-200	-175	-125	
Gillestuga	-220	-195	-145	
1 m fr sugpunkt	-11	-2,4-2,8	-7,8-8,2	+2,0
2 m fr sugpunkt	-1	-0,1-0,5	-0,0-0,1	+3,0

Radon- och radondotterhalt

I tabell 5-2-4 redovisas de erhållna momentanvärdena av radon- och radondotterhalt. Av resultaten framgår att högsta uppmätta radonhalt i ett rum med golvsugen i drift är  $540 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , motsvarande vid avstängd golvsug 11  $645 \text{ Bq}/\text{m}^3$ . Golvsugen har alltså där reducerat radonhalten med ca 95 % i detta rum.

Tabell 5-2-4

Radon- och radondotterhalt ( $\text{Bq/m}^3$ ) samt  
jämviktsfaktorn (F) för  
momentan mätning med RDA-200, 1985, HUS C

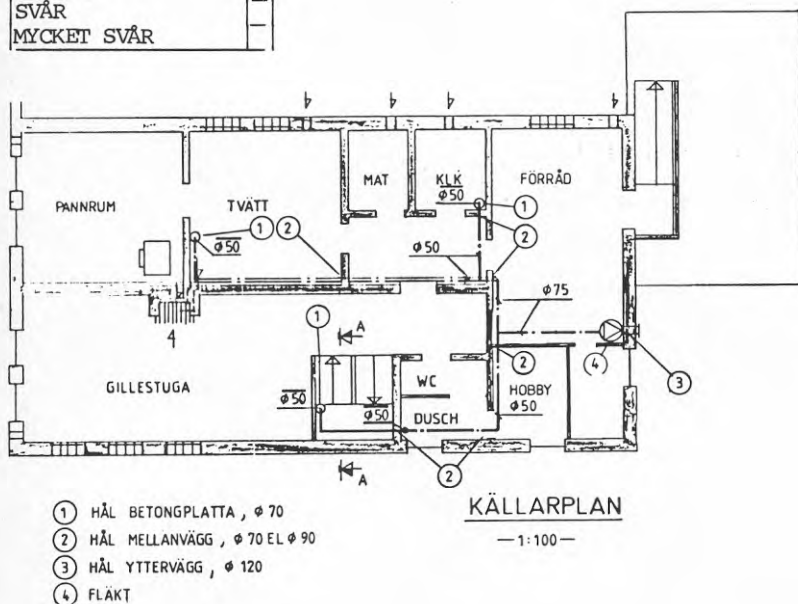
Golvs inst:	Max	Med	Min	Avst	
Datum:	12/1	14/1	15/1	17/1	
Tid:	16 <sup>55</sup> -17 <sup>15</sup>	10 <sup>00</sup> -10 <sup>20</sup>	9 <sup>15</sup> -9 <sup>40</sup>	16 <sup>15</sup> -16 <sup>30</sup>	
Gillestuga	169	176	143	4567	RnD
	0,42	0,33	0,31	0,39	F
	401	537	459	11642	Rn
Tvättstuga	152	108	125	1396	RnD
	0,43	0,30	0,31	0,39	F
	353	357	409	3565	Rn
Hobbyrum	138	137	140	1073	RnD
	0,30	0,38	0,41	0,34	F
	454	365	339	3165	Rn
Vardagsrum	164	90	156	4683	RnD
	0,71	0,35	0,47	0,60	F
	232	256	335	7810	Rn
Sovrum	207	128	158	2983	RnD
	0,48	0,34	0,46	0,35	F
	432	373	343	8557	Rn
Huset	165	130	145	2940	RnD
	0,44	0,34	0,38	0,42	F
	375	380	375	6950	Rn
Utblåsning markluft golvsug	202	169	166		$\text{kBq/m}^3$

Av tryckmätningarna kan man av tabell 5-2-3 se att tryckdifferensen klart vänder då golvsugen stängs av. Detta överensstämmer med vad man förväntat sig.



## HUSNYCKEL

1. GEOLOGI		2. HUSTYP		3. BYGGNADSMATERIAL	
GRUS & SAND	<input checked="" type="checkbox"/>	1-PLAN	<input checked="" type="checkbox"/>	TRÄ	<input type="checkbox"/>
MORÄN	<input checked="" type="checkbox"/>	2-PLAN	<input type="checkbox"/>	BETONG	<input type="checkbox"/>
LERA	<input type="checkbox"/>	KÄLLARE	<input checked="" type="checkbox"/>	LÄTTBETONG VIT	<input type="checkbox"/>
BERG	<input type="checkbox"/>	SOUTERRÄNG	<input type="checkbox"/>	LÄTTBETONG BLÅ	<input checked="" type="checkbox"/>
4. VENTILATION		5. RADONHALT FÖRE		6. ÅTGÄRD	
SJÄLVDRAG	<input checked="" type="checkbox"/>	Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>	TÄTNING	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>	HUS 2940 Bq/m <sup>3</sup>		FOLIE	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FT	<input type="checkbox"/>	BOSTAD 3833 Bq/m <sup>3</sup>		GOLVSUG	<input checked="" type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>	KÄLLARE 2345 Bq/m <sup>3</sup>		VENTILATION	<input type="checkbox"/>
LUFTOMSÄTTNING:		MARK (Rn) 200 kBq/m <sup>3</sup>		ÖKAT SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
BOSTAD oms/h				MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE oms/h				MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
UNDERTRYCK Pa				KRYPGRUND VENT	<input type="checkbox"/>
7. RADONHALT EFTER		8. LUFTOMSÄTTNING EFTER		9. KOSTNADSEFFEKTIVITET	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>	BOSTAD oms/h		KOSTNAD 10 kkr	
HUS 145 Bq/m <sup>3</sup>		KÄLLARE oms/h		REDUKTION 2895 Bq/m <sup>3</sup>	
BOSTAD 150 Bq/m <sup>3</sup>		UNDERTRYCK Pa		ANTAL PERS 4 st	
KÄLLARE 145 Bq/m <sup>3</sup>				EFFEKTIVITET 0,78kr/mSv	
REDUKTION 95 %					
10. DIAGNOS					
LÄTT	<input type="checkbox"/>				
NORMAL	<input checked="" type="checkbox"/>				
SVÅR	<input type="checkbox"/>				
MYCKET SVÅR	<input type="checkbox"/>				



## HUS D

Denna fastighet är ett enplanshus med källare beläget på en sandig morän med underliggande lager av alunskiffermorän. Husets källargolv har gjutits efter det att väggarna har byggts.

Golvsug

I denna fastighet har en golvsug med fyra sugpunkter installerats.

I tabell 5-2-5 redovisas tryckdifferensen mellan sugpunkterna och huset.

Tabell 5-2-5 Uppmätt differenstryck mellan sugpunkter och huset

Sugpunkter	Differenstryck i Pa			avst
	max	med	min	
Matkällare	-150	-130	-120	
Tvättstuga	-140	-115	-110	
Gillestuga	-130	-115	-110	
Pannrum	-120	-105	-100	+2,5
1 m fr sugpunkt*	-1,0	-0,4	-0,1	+0,4
2 m fr sugpunkt*	+0,1-0	0,4	+0,4	+2,2

\* Betonggolvet hade inte någon jämn yta varför den tejp vi använde för att täta med svårligen fäste på underlaget. Dessa mätningar är därför mer osäkra än motsvarande i andra hus.

Radon- och radondotterhalt

Dessa halter har uppmätts momentant vid olika inställningar på golvsugen. Dessutom har radonhalten mätts kontinuerligt.

I figur 5.2.3 visas radonhaltens variation och i tabell 5-2-6 redovisas de momentana radon- och radondotterhalterna.

De högsta registrerade radonhalterna med golvsugen igång har varit  $420 \text{ Bq/m}^3$ . Då golvsugen stängts av uppmättes max ca  $10\ 300 \text{ Bq/m}^3$ , vilket motsvarar en radonhaltsreduktion på ca 96 %, se figur 5.2.4.

Golvsugen suger totalt upp ca  $14 \text{ m}^3/\text{h}$  9-gradig markluft som har en radonhalt mellan 90 och  $100 \text{ kBq/m}^3$ .

Tabell 5-2-6 Radon- och radondotterhalt ( $\text{Bq/m}^3$ ) och jämviktsfaktorn (F), momentan mätning med RDA-200, 1985, HUS D

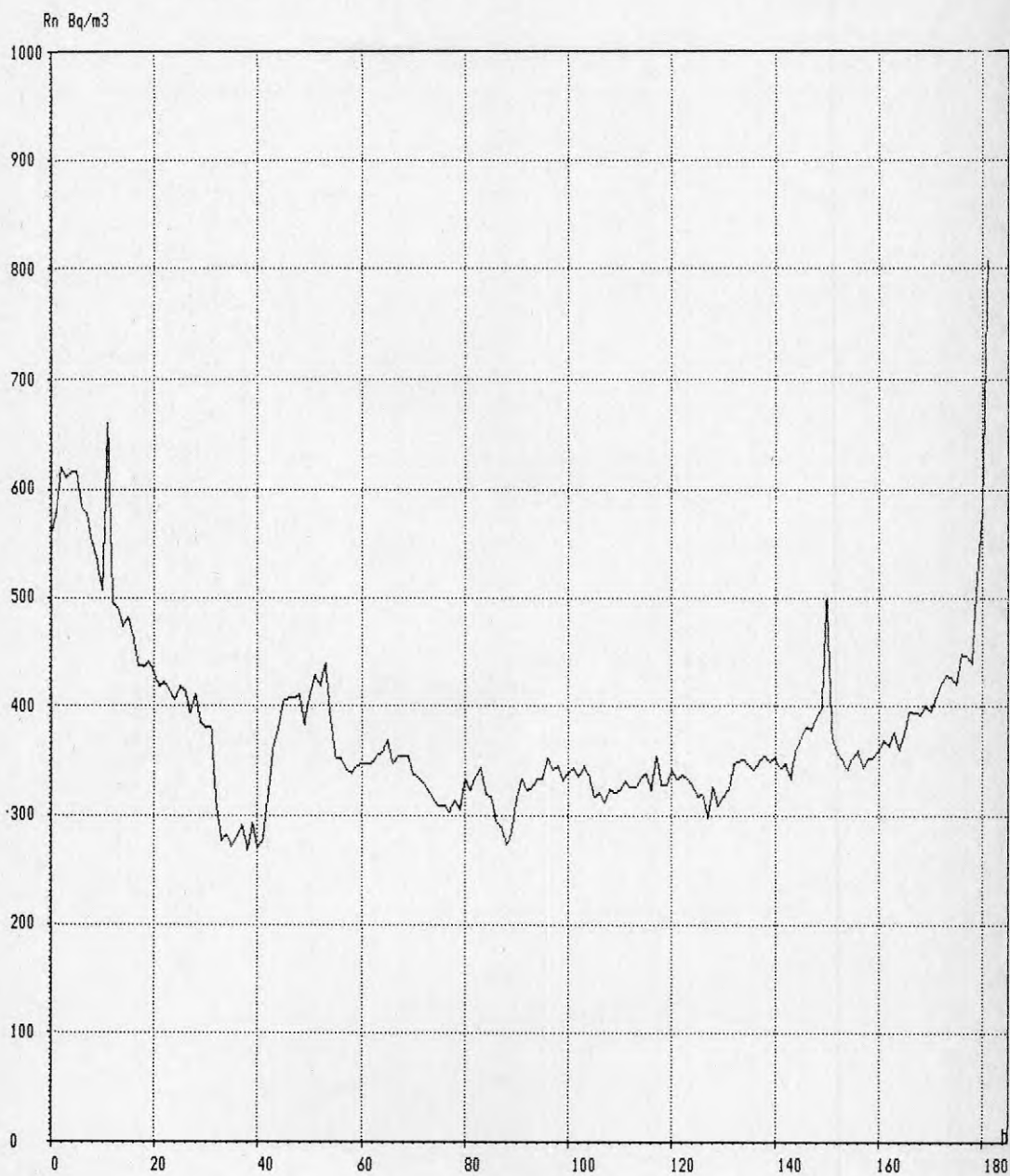
Golvs inst:	Max	Med	Min	Avst	
Datum:	12/1	14/1	15/1	17/1	
Tid:	16 <sup>00</sup> -16 <sup>40</sup>	9 <sup>20</sup> -9 <sup>40</sup>	10 <sup>00</sup> -10 <sup>20</sup>	16 <sup>40</sup> -17 <sup>00</sup>	
<hr/>					
Gillestuga	151	83	118	4328	RnD
	0,53	0,52	0,49	0,42	F
	287	161	239	10257	Rn
Tvättstuga	99	89	91	3249	RnD
	0,46	0,41	0,36	0,80	F
	215	215	253	4069	Rn
Korridor	156	154	237	(173*)	RnD
	0,38	0,55	0,56	0,07	F
	408	281	420	2504	Rn
Vardagsrum	107	95	104	4150	RnD
	0,49	0,59	0,53	0,60	F
	220	162	197	6922	Rn
Sovrum	115	88	165	3587	RnD
	0,60	0,50	0,55	0,56	F
	191	175	300	6389	Rn
<hr/>					
Huset	125	100	145	3830	RnD
	0,47	0,50	0,51	0,51	F
	265	200	280	6028	Rn
<hr/>					
Utblåsning markluft golvsug	96	112** 118	92	$\text{kBq/m}^3$	

\* Uppmätt radondotterhalt, troligen felaktig eller har vädring skett

\*\* Uppmätt halt på uppsugen markluft 13/1

HUS D

MED GOLVSUG I DRIFT 11/1-15/1

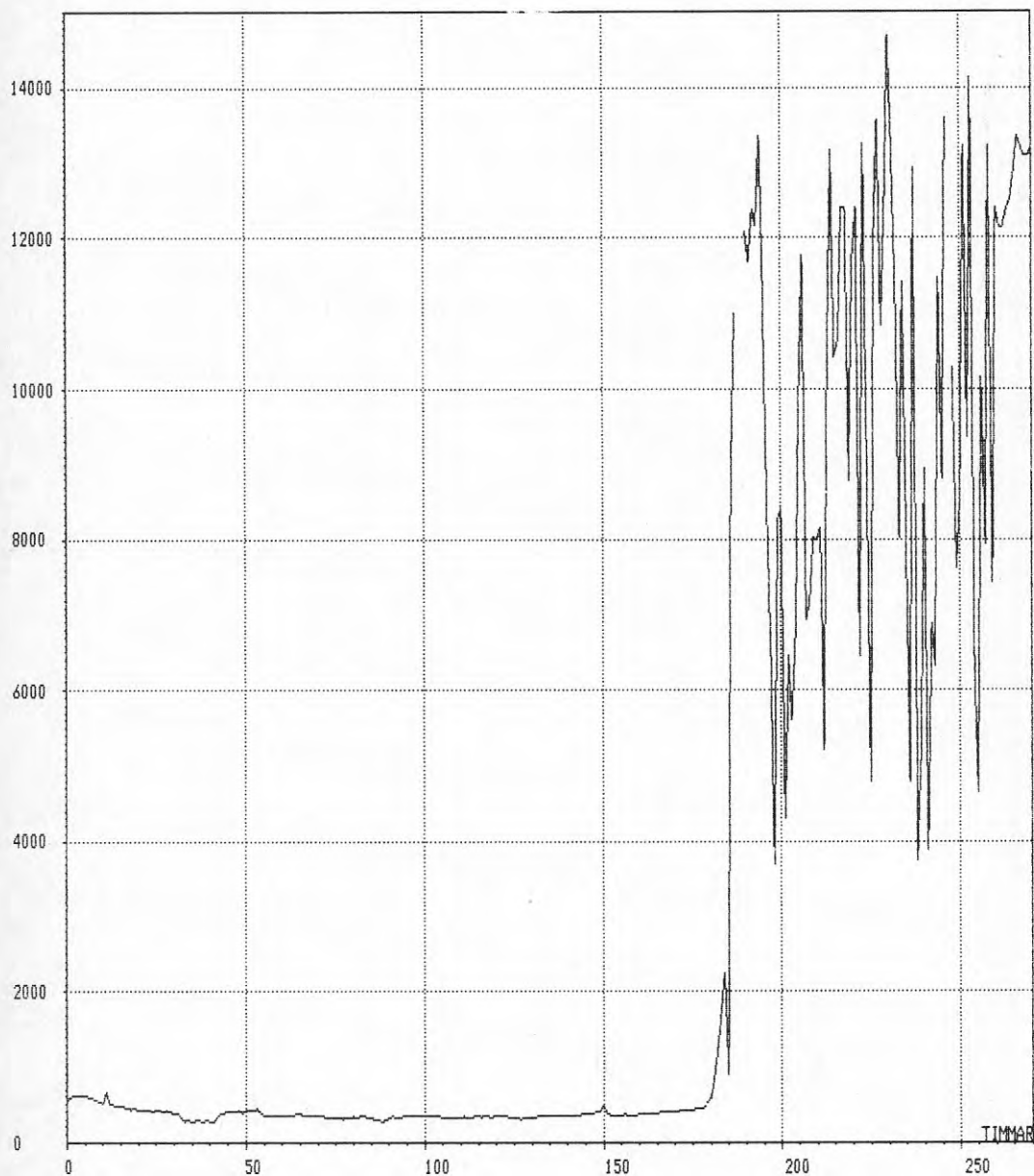


Figur 5.2.3 Radonhalt för HUS D med påsatt golvsug

HUS D

START: 850111 1610

STOPP: 850117 1840

RND Bq/m<sup>3</sup>

Figur 5.2.4 Radonhalt för HUS D med påsatt och avstängd golvsug vid h = 180

HUS D

HUSNYCKEL

1. GEOLOGI	
GRUS & SAND	<input checked="" type="checkbox"/>
MORÄN	<input type="checkbox"/>
LERÄ	<input type="checkbox"/>
BERG	<input type="checkbox"/>

2. HUSTYP	
1-PAN	<input checked="" type="checkbox"/>
2-PAN	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE	<input checked="" type="checkbox"/>
SOUTERRÄNG	<input type="checkbox"/>
KRYPGRUND	<input type="checkbox"/>

3. BYGGNADSMATERIAL	
TRÄ	<input type="checkbox"/>
BETONG	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG VIT	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG BLÅ	<input checked="" type="checkbox"/>

4. VENTILATION	
SJÄLVDRAG	<input checked="" type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FT	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
LUFTOMSÄTTNING:	
BOSTAD oms/h	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE oms/h	<input type="checkbox"/>
UNDERTRYCK Pa	<input type="checkbox"/>

5. RADONHALT FÖRE	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS 3830 Bq/m <sup>3</sup>	
BOSTAD 3868 Bq/m <sup>3</sup>	
KÄLLARE 3789 Bq/m <sup>3</sup>	
MARK (Rn) 100 kBq/m <sup>3</sup>	

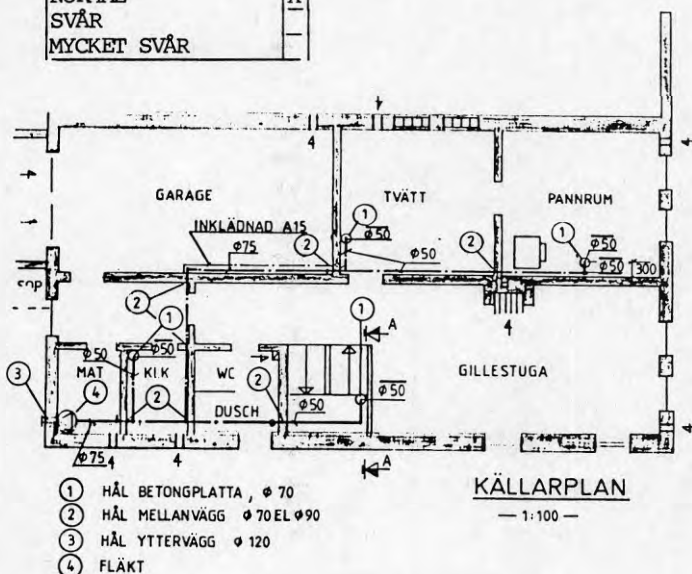
6. ÅTGÄRD	
TÄNING	<input type="checkbox"/>
FOLIE	<input type="checkbox"/>
GOLVSUG	<input checked="" type="checkbox"/>
VENTILATION	<input type="checkbox"/>
ÖKAT SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
KRYPGRUND VENT	<input type="checkbox"/>

7. RADONHALT EFTER	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS 125 Bq/m <sup>3</sup>	
BOSTAD 110 Bq/m <sup>3</sup>	
KÄLLARE 130 Bq/m <sup>3</sup>	
REDUKTION 97 %	

8. LUFTOMSÄTTNING EFTER	
BOSTAD oms/h	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE oms/h	<input type="checkbox"/>
UNDERTRYCK Pa	<input type="checkbox"/>

9. KOSTNADSEFFEKTIVITET	
KOSTNAD 10 kkr	
REDUKTION 3705 Bq/m <sup>3</sup>	
ANTAL PERS 4 st	
EFFEKTIVITET 0,42kr/mSv	

10. DIAGNOS	
LÄTT	<input type="checkbox"/>
NORMAL	<input checked="" type="checkbox"/>
SVÅR	<input type="checkbox"/>
MYCKET SVÅR	<input type="checkbox"/>





## HUS E

Denna fastighet är ett enplanshus med inredd källare beläget på alunskiffermorän. Husets källargolv har gjutits efter det att väggarna har byggts.

På grund av höga radonhalter installerades ett mekaniskt ventilationssystem med värmeåtervinning (FTX). Radonhaltssänkningen blev lägre än förväntningarna.

Gammastrålning

Gammastrålningen från byggnadsmaterialet uppmättes till mellan 28 och 74  $\mu\text{R/h}$ .

Ventilation

Vid mätningarnas början upptäcktes att ventilationsanläggningens funktion var nedsatt på grund av att tilluftfiltret inte rengjorts sedan installationen gjordes och av igensatta don. Ett frånluftsdon i köket hade satts igen av fettavlagringar från matlagning. Två tilluftsdon hade satts igen på grund av kondenserande vatten i spridarspalterna. Det senare berodde sannolikt på att flödet varit så nedsatt att rumsluft kunde ta sig baklänges upp i kanalen där fukten i luften fälldes ut mot den kallare kanalen. Kanalerna ligger på vinden och under denna period låg utomhustemperaturen på mellan  $-10$  och  $-20^{\circ}\text{C}$ .

I tabell 5-2-7 redovisas de uppmätta luftflödena.

Tabell 5-2-7 Uppmätta luftflöden i don i HUS E med FTX-anläggning typ Rexovent 1985-01-12

Rum	Plan	V m/s	Q m <sup>3</sup> /h	
			till	från
Gillestuga	K	3x0,1	8	
Tvättstuga	K	0,6		13
WC, Gillestuga	K	0,6*		13
			8	26
-----				
Sovrum	1	0,15	3,3	
Vardagsrum	1	2x0,15	6,6	
Sovrum	1	0,15	3,3	
TV-rum	1	0,1	2,2	
Kök	1	0,03		0,7
Badrum	1	1,3		30
			15,4	31
			23	57

\* Uppskattad hastighet, då detta don missades vid denna mätning

Då huset har en volym på ca 350 m<sup>3</sup> motsvarar detta en luftomsättning på ca 0,25 inkl ofrivillig ventilation på 0,1 oms/h.

Den uppmätta temperaturskillnaden mellan till- och frånluften var i genomsnitt ca 10C, vilket till stor del beror på att förhållandet mellan till- och frånluft var så hög som F/T = 2,5.

När ventilationsanläggningen åtgärdats gjordes mätningarna om. I tabell 5-2-8 redovisas de uppmätta luftflödena.

Tabell 5-2-8 Uppmätta luftflöden i don i HUS E med  
FTX-anläggning typ Rexovent 1985-01-13

Rum	Plan	V m/s	Q m <sup>3</sup> /h		t°C
			till	från	
Gillestuga	K	3x0,5	33		19
Tvättstuga	K	0,66		15	26
WC, Gillestuga	K	0,6		13	24
			33	28	19/25
-----					
Sovrum	1	0,8	18		15
Vardagsrum	1	0,7/0,54	27		16,4/17,4
Sovrum	1	0,74	16		16,6
TV-rum	1	0,55	12		17,5
Kök	1	1,1		24	24
Badrum	1	1,1		24	24,5
			73	48	16,5/24,25
			106	76	17,3/24,5

Detta motsvarar en luftomsättning på ca 0,4 oms/h inkl ofrivillig ventilation på 0,1 oms/h. Förhållandet mellan från- och tilluft är nu F/T = 0,7 vilket kan medföra ett övertryck i huset. Dock torde skorstenseffekten medföra att frånluft går ut andra vägar än genom installerade don varför normalt ett undertryck råder.

Ventilationssystemet har relativt låg utspädningseffekt på grund av den låga luftomsättningen. Den positiva effekten är dock att uteluft tillsätts i rum där normalt luftomsättningen tidvis skulle vara ännu sämre.

#### Värmeväxlarens verkningsgrad

Värmeväxlarens effektivitet kan grovt uppskattas med hjälp av tilluftens temperaturverkningsgrad, då utomhustemperaturen var ca -10°C, till

$$\eta_t = \frac{17,3 + 10}{24,5 + 10} = 0,80, \text{ dvs } 80 \%. -$$

Man bör dock ha i åtanke att gillestugans tilluftstemperatur inte är representativ, då kanalen går en lång väg oisolerad genom huset. Detta skulle medföra att temperaturverkningsgraden sjunker till

$$\eta_t = \frac{16 + 10}{25 + 10} = 0,74, \text{ dvs ca } 75 \%. -$$

Detta stämmer rätt väl med de av Sv Fläkt angivna verkningsgraderna för installerat aggregat vid de uppmätta luftflödena.

Man kan dock konstatera att då ventilationsaggregatets fläktar gått på maximalt varvtal har inte tilluftmängden kommit upp i mer än ca  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , vilket tyder på att kanalmotståndet är något för högt. Aggregatet borde klara ca 50 % mer.

### Golvsug

Detta hus har också utrustats med s k golvsug efter det att ventilationsaggregatet hade installerats.

Golvsugen suger upp totalt ca  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  markluft med en radonhalt på mellan 55 och  $99 \text{ kBq}/\text{m}^3$ .

Golvsugen suger på totalt tre punkter under betongplattan. I tabell 5-2-9 redovisas uppmätta tryckdifferenser mellan sugpunkt och huset samt tryckets utbredning under golvet vid en sugpunkt i tvättstugan. Tryckskillnaden mellan huset och atmosfären uppmättes till ca  $-(2,5-3) \text{ Pa}$ .

Tabell 5-2-9 Tryckdifferenser mellan sugpunkten och huset för golvsugsinstallationen

Sugpunkt	Tryckdifferens uttryckt i Pa		
	min	med	max
Gillestuga	-78	-115	-120
Garderob	-82	-125	-130
Tvättstuga	-80	-120	-130
1 m från sugpunkt	-5,0	-7,8	-9,8
2 m från sugpunkt	-3,0	-5,0	-1,0

Då golvsugen stängdes av kunde ett övertryck under golvet gentemot huset på 1 - 2 Pa uppmätas, vilket skall jämföras med tidigare undertryck. Detta visar att den huvudsakliga mekanismen för radontransporten är infiltrationen orsakad av tryckskillnaden över betongplattan.

### Radon- och radondotterhalt

Radon- och radondotterhalterna har dels mätts kontinuerligt i gillestugan under mätperioden på ca 6 dagar samt vid olika driftsituationer momentant under dagen.

Mätningarna från de kontinuerliga instrumenten redovisas i figur 5.2.5 (förklaringar se tabell 5-2-10) och från momentanmätningarna i tabell 5-2-11.

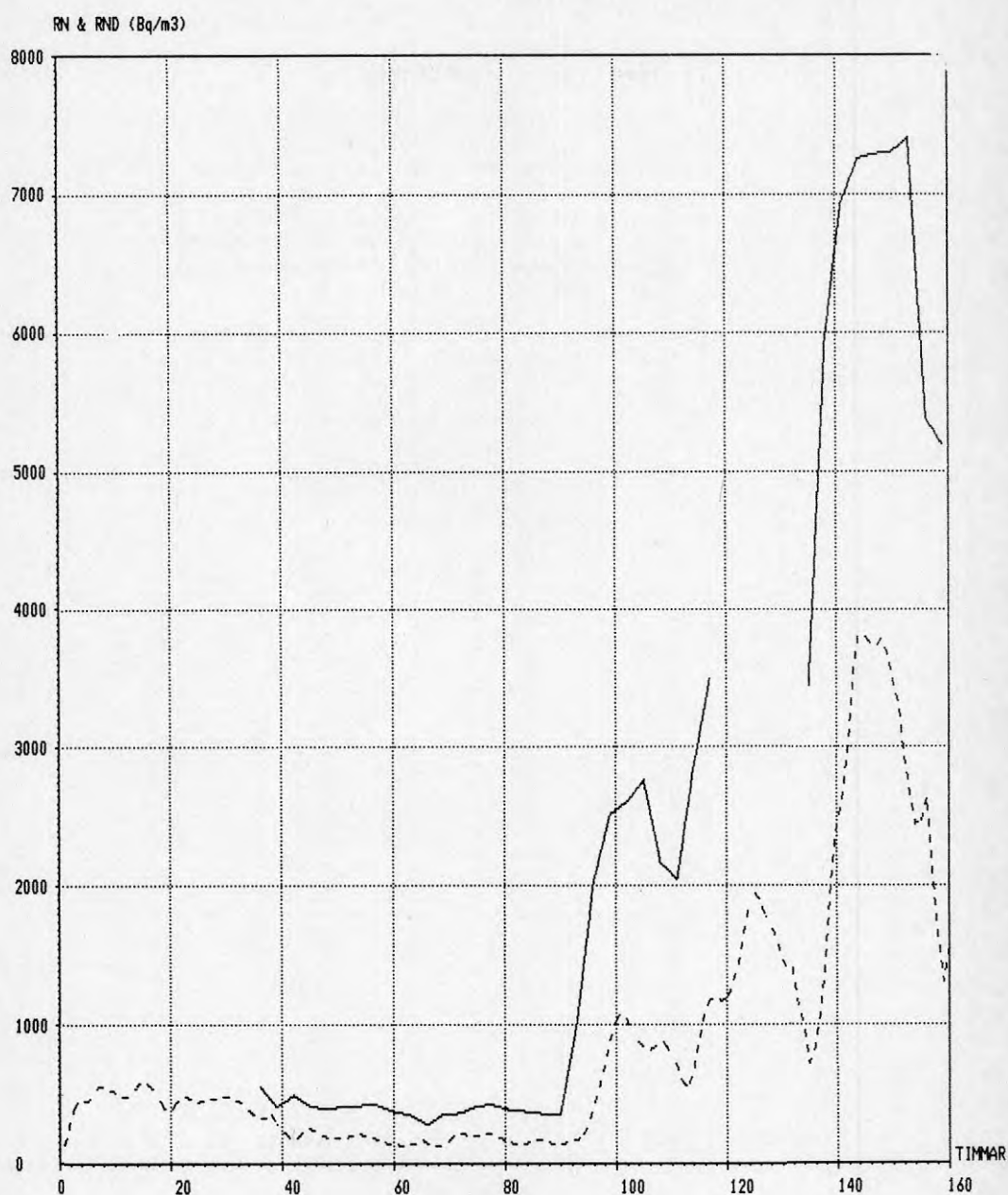
Tabell 5-2-10 Förklaringar till figur 5.2.5 gällande installationernas inställning vid olika tidpunkter  
(FTX = mek vent) (GS = golvsug)

h		h	
0 - 40 låg	FTX	0 - 85 max	GS
40 - 135 max	FTX	85 - 95 50 %	GS
135 - 160 avst	FTX	95 - 160 avst	GS

Tabell 5-2-11 Radon- och radondotterhalt ( $\text{Bq/m}^3$ ) samt jämviktsfaktor (F) för momentan mätning med RDA-200, 1985, HUS E

Golvs inst: Datum: Tid:	Max 12/1 10 <sup>45</sup> -11 <sup>15</sup>	Max 13/1 10 <sup>45</sup> -12 <sup>40</sup>	Med 14/1 16 <sup>20</sup> -16 <sup>45</sup>	Avst 16/1 11 <sup>20</sup> -11 <sup>45</sup>	
Gillestuga	165 0,34 492	143 0,55 258	140 0,47 298	544 0,27 2019	RnD F Rn
Tvättstuga	200 0,23 852	369 0,33 1110	337 0,37 912	1203 0,24 4928	RnD F Rn
Vardagsrum	160 0,35 462	146 0,59 249	160 0,62 259	623 0,24 1130	RnD F Rn
Sovrum	52 0,08 614	167 0,73 229	168 0,65 260	545 0,70 775	RnD F Rn
Kök	118 0,19 624	150 0,83 181	174 0,64 272	673 0,48 1388	RnD F Rn
Huset	140 0,23 609	195 0,48 405	196 0,49 400	718 0,35 2048	RnD F Rn
Utblåsning markluft golvsug	83	99	55	150* $\text{kBq/m}^3$	

\* Radonhalt under golv vid avstängd golvsug



Figur 5.2.5 Radon- och radondotterhalt i Gillestugan, Hus E, från 85-01-10, kl 19<sup>00</sup> till 85-01-17, kl 14<sup>00</sup>



Resultaten visar att när ventilationen är låg och golvsugen är igång uppnås radonhalter upp till  $600 \text{ Bq/m}^3$ . När ventilationen fungerar normalt efter justering överstiger halten sällan  $200 \text{ Bq/m}^3$ .

#### Slutsatser avseende Hus E

Det har för detta hus visat sig mycket effektivt att installera en golvsug, då den vid dessa mätningar visade sig sänka radonhalten i gillestugan från  $7000 \text{ Bq/m}^3$  till ca  $1000 \text{ Bq/m}^3$  (ca 86 %) och med en fungerande ventilationsanläggning reducerade man halten ytterligare ca  $500 \text{ Bq/m}^3$  (totalt ca 93 %). Ventilationsaggregatet ensamt reducerade radonhalten till ca  $4000 \text{ Bq/m}^3$  (ca 43 %).

Då golvsugen är avstängd kan man se stora dygnsvariationer, vilka är typiska för inflöde av markradon men som även kan bero på boendevanor.

HUS E

HUSNYCKEL

1. GEOLOGI	
GRUS & SAND	<input type="checkbox"/>
MORÄN	<input checked="" type="checkbox"/>
LERA	<input type="checkbox"/>
BERG	<input type="checkbox"/>

2. HUSTYP	
1-PLAN	<input checked="" type="checkbox"/>
2-PLAN	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE	<input checked="" type="checkbox"/>
SOUTERRÄNG	<input type="checkbox"/>
KRYPGRUND	<input type="checkbox"/>

3. BYGGNADSMATERIAL	
TRÄ	<input checked="" type="checkbox"/>
BETONG	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG VIT	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG BLÅ	<input checked="" type="checkbox"/>

4. VENTILATION	
SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FT	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input checked="" type="checkbox"/>
LUFTOMSÄTTNING:	
BOSTAD 0,4 oms/h	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE 0,4 oms/h	<input type="checkbox"/>
UNDERTRYCK 3 Pa	<input type="checkbox"/>

5. RADONHALT FÖRE	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS 720 Bq/m <sup>3</sup>	
BOSTAD 615 Bq/m <sup>3</sup>	
KÄLLARE 875 Bq/m <sup>3</sup>	
MARK (Rn) 150 kBq/m <sup>3</sup>	

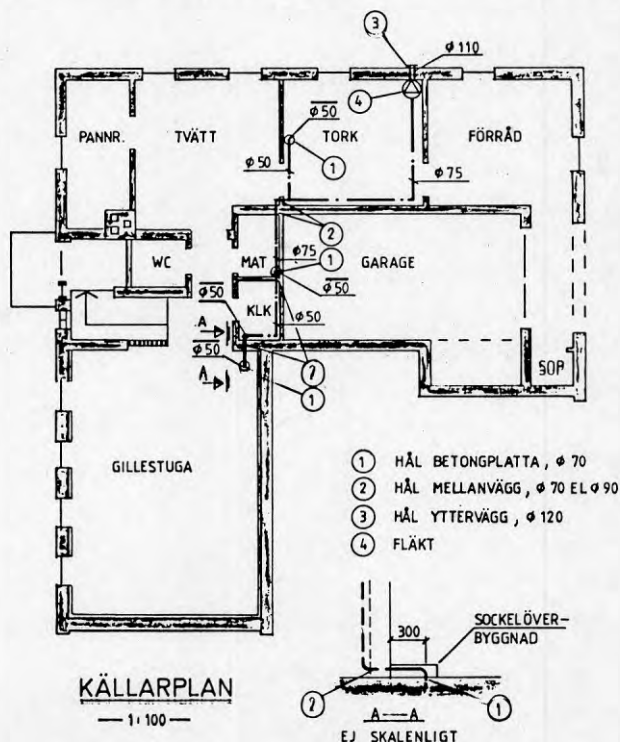
6. ÅTGÄRD	
TÄTNING	<input type="checkbox"/>
FOLIE	<input type="checkbox"/>
GOLVSUG	<input checked="" type="checkbox"/>
VENTILATION	<input type="checkbox"/>
ÖKAT SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input checked="" type="checkbox"/>
KRYPGRUND VENT	<input type="checkbox"/>

7. RADONHALT EFTER	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS 200 Bq/m <sup>3</sup>	
BOSTAD 160 Bq/m <sup>3</sup>	
KÄLLARE 240 Bq/m <sup>3</sup>	
REDUKTION 72 %	

8. LUFTOMSÄTTNING EFTER	
BOSTAD 0,4 oms/h	
KÄLLARE 0,4 oms/h	
UNDERTRYCK 3 Pa	

9. KOSTNADSEFFEKTIVITET	
KOSTNAD 10 kkr	
REDUKTION 520 Bq/m <sup>3</sup>	
ANTAL PERS 3 st	
EFFEKTIVITET 5,6 kr/mSv	

10. DIAGNOS	
LÄTT	<input type="checkbox"/>
NORMAL	<input checked="" type="checkbox"/>
SVÅR	<input type="checkbox"/>
MYCKET SVÅR	<input type="checkbox"/>



## HUS F

Detta hus består av 4 st 1/2-plan och en del av huset har kryppgrund, beläget på alunskiffermorän.

Gammastrålning

Gammastrålningen från byggnadsmaterialet uppmättes till mellan 60 och 104  $\mu\text{R/h}$  mitt i rummen med ett maxvärde vid en vägg i förrådet på 135  $\mu\text{R/h}$ . Dessa gammavärden indikerar en otroligt aktiv lättbetong.

Ventilation

Huset är utrustat med en ventilationsanläggning, Regent TS-450. I tabell 5-2-12 redovisas de uppmätta luftflödena.

Tabell 5-2-12 Uppmätta luftflöden i don i fastighet Hus E med FTX-anläggning typ Regent TS-450 1985-01-12

Rum	Plan	V m/s	Q m <sup>3</sup> /h		Temp °C
			till	från	
Vardagsrum	1,5	1,4	30,8		14,0
Vardagsrum	1,5	0,9	19,8		16,1
Arbetsrum	1,5	0,8	17,6		16,4
- - - - -					
Gästrum	1	0,92	20,2		15,5
Matrum	1	0,8	17,6		14,0
Vävrums	1	0,95	20,9		16,0
Kök	1	1,3		28,6	22,5
WC	1	1,25		27,5	22,3
Hall	1	1,2		26,4	23,0
- - - - -					
Sovrum H	0,5	1,2	26,4		14,5
Sovrum V	0,5	0,9	19,8		16,5
Bad	0,5	1,0		22,0	25,5
- - - - -					

Gillestuga	0	1,15	25,3	16,0
Gillestuga	0	1,2	26,4	15,8
Förråd	0	1,15	25,3	14,5
Tvätt	0	1,65		36,3 23,5
Syrum	0	1,2		26,4 23,5
Gillestuga	0	0,85		18,0 22,9
Hall	0	1,15		25,3 20,3
Hall	0	1,0		22 21,0
Förråd	0	1,0		22 19,2
Huset			250 / 254,5	15/22,4
=====				

Vid ankomsten kunde konstateras att värmeväxlar-spjället inte fungerade varför värmeåtervinningen var satt ur funktion. Dessutom hördes stomljud från aggregatet som var för hårt upplagt samt oisolerat på ett undertak i hallen.

Av luftflödesmätningarna kan luftomsättningen uppskattas till ca 0,5 oms/h då husets volym är ca 500 m<sup>3</sup>. Då temperaturen utomhus var ca -10°C erhöles tilluftens temperaturverkningsgrad till 78 % trots att värmeväxlaren var satt ur system. Detta kan förklaras med att värmeväxlaren och kanaler inte var isolerade varför värmväxling istället skedde mellan rum och kanal. För att värmväxling skall fungera på avsett vis skall aggregat isoleras samt värmväxlar-spjället lagas.

Undertrycket i huset uppmättes till ca 5 Pa oberoende av höjden.

#### Radon- och radondotterhalt

Radon- och radondotterhalter redovisas i tabell 5-2-13.

Medelvärde för huset var 414 Bq/m<sup>3</sup> radondöttrar och radonhalten var ca 3000 Bq/m<sup>3</sup> i kryprummet.

Vid mätning av radonhalt i tilluften uppmättes ca 300 Bq/m<sup>3</sup> vilket innebär att ca 32 % av frånluften kommer tillbaka. Det trasiga spjället är orsaken till detta. Läckaget skulle normalt vara 5 % varvid även radondotterhalten i huset skulle bli lägre.

Detta innebär att av de 0,5 oms/h motsvaras endast 0,35 oms/h i uteluftsomsättning, resterande del är återluft. Lagas spjället bör radondotterhalterna reduceras i motsvarande grad.

Tabell 5-2-13 Uppmätta radon- och radondotterhalter ( $\text{Bq/m}^3$ ) med RDA-200, 1985-01-16, samt beräknad jämviktsfaktor (F) för Hus F

Rum	$\frac{\text{RnD}}{\text{Rn}}$	F	(Bq/m <sup>3</sup> )
<u>Övre plan</u>			
Vardagsrum	325	0,48	
	672		
Matplats	373	0,47	
	790		
Sovrum H	364	0,42	373
	861		805
Sovrum V	404	0,45	
	898		
<u>Nedre plan</u>			
Gillestuga	417	0,40	
	1049		
Tvätt	499	0,46	477
	1084		1117
Förråd H	514	0,42	
	1217		
Krypgrund	3000		
<hr/>			
Huset	414	0,44	
	939		

I detta hus är byggnadsmaterialet troligen den dominerande källan. De höga halterna i krypgrunden kan bero på att den blå lättbetongen där är obehandlad och att dålig luftomsättning råder. De relativt höga gammastrålningsvärdena tyder på detta.

HUS F

HUSNYCKEL

1. GEOLOGI	
GRUS & SAND	<input type="checkbox"/>
MORÄN	<input type="checkbox"/>
LERA	<input type="checkbox"/>
BERG	<input checked="" type="checkbox"/>

2. HUSTYP	
1-PLAN	<input type="checkbox"/>
2-PLAN	<input checked="" type="checkbox"/>
KÄLLARE	<input type="checkbox"/>
SOUTERRÄNG	<input checked="" type="checkbox"/>
KRYPGRUND	<input checked="" type="checkbox"/>

3. BYGGNADSMATERIAL	
TRÄ	<input type="checkbox"/>
BETONG	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG VIT	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG BLÅ	<input checked="" type="checkbox"/>

4. VENTILATION	
SJÄLVDRAG	<input checked="" type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FT	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
LUFTOMSÄTTNING:	
BOSTAD	oms/h
KÄLLARE	oms/h
UNDERTRYCK	Pa

5. RADONHALT FÖRE	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input type="checkbox"/>
HUS	Bq/m <sup>3</sup>
BOSTAD	Bq/m <sup>3</sup>
KÄLLARE	Bq/m <sup>3</sup>
MARK (Rn)	kBq/m <sup>3</sup>

6. ÅTGÄRD	
TÄTNING	<input type="checkbox"/>
FOLIE	<input type="checkbox"/>
GOLVSUG	<input type="checkbox"/>
VENTILATION	<input type="checkbox"/>
ÖKAT SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input checked="" type="checkbox"/>
KRYPGRUND VENT	<input type="checkbox"/>

7. RADONHALT EFTER	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS	414 Bq/m <sup>3</sup>
BOSTAD	373 Bq/m <sup>3</sup>
KÄLLARE	477 Bq/m <sup>3</sup>
REDUKTION	%

8. LUFTOMSÄTTNING EFTER	
BOSTAD	0,5 oms/h
KÄLLARE	oms/h
UNDERTRYCK	5 Pa

9. KOSTNADSEFFEKTIVITET	
KOSTNAD	40 kkr
REDUKTION	Bq/m <sup>3</sup>
ANTAL PERS	5 st
EFFEKTIVITET	kr/mSv

10. DIAGNOS	
LÄTT	<input type="checkbox"/>
NORMAL	<input checked="" type="checkbox"/>
SVÅR	<input type="checkbox"/>
MYCKET SVÅR	<input type="checkbox"/>



## HUS G

Denna fastighet är ett enplanshus med inredd källare belägen på en kulle bestående av sandig alunskiffermorän.

Gammastrålning

Gammastrålningen från byggnadsmaterialet uppmättes till mellan 39 och 97  $\mu\text{R/h}$ .

Ventilation

Huset är utrustat med en ventilationsanläggning, Regent TS-600. I tabell 5-2-14 redovisas uppmätta luftflöden och temperaturer.

Utomhus var temperaturen ca  $-5^{\circ}\text{C}$  och svag vind. Den sammanlagda tilluftsmängden uppmättes till  $520 \text{ m}^3/\text{h}$  med en viktad temperatur av  $18,3^{\circ}\text{C}$ . Frånluftsmängden var  $450 \text{ m}^3/\text{h}$  med en viktad temperatur av  $21,7^{\circ}\text{C}$ .

Detta innebär att tilluftens temperaturverkningsgrad vid mättillfället var 87 %. Med hänsyn till viss värmeväxling i kanalsystemet bör tilluftens temperatur vara något lägre. Lägsta uppmätta temperatur, ca  $17^{\circ}\text{C}$ , innebär en verkningsgrad av 82 %.

Undertrycket uppmättes och visade sig för huset vara oberoende av höjden. Vid normal drift var undertrycket ca 4 Pa och med köksfläkten igång ökade det till det dubbla. En tryckdifferens över bottenplattan av samma storlek kunde uppmätas, varför drivkraften för radoninflöde av markradon föreligger.

Tabell 5-2-14

Uppmätta luftflöden och temperaturer  
i don i Hus G med FTX-anläggning typ  
Regent TS-600 1985-01-15

Rum	V m/s	Q m <sup>3</sup> /h		t°C
		till	från	
Gillestuga	2,0		44	23
	2,0		44	21,7
	1,25	27,5		18,6
	1,35	29,7		18,8
	1,35	29,7		19,3
	0,3	6,6		20,6
Sovrum	1,2	26,4		19,1
	1,2	26,4		19,0
Förråd	0,9	19,8		20,6
	0,9	19,8		19,2
Klädkammare	0,5	11		20,0
Tvättstuga	1,4		30,8	20,0
	1,35		29,7	20,7
Dusch	1,6		35,2	20,5
WC	0,9		19,8	23,0
		196,9	203,5	
-----				
Kök	1,85		40,7	21,7
	2,6		57,2	23,0
Hall	2,3		50,6	21,4
	2,2		48,4	21,0
WC	2,4		52,8	21,8
Sovrum vänster	1,8	39,6		18,3
Sovrum mitt	1,25	27,5		18,8
Sovrum höger	1,45	31,9		19,0
Vardagsrum	2,4	90		17,0
	3,6	135		17,6
		324	249,7	
		521	453	

Luftmängden innebär för denna fastighet en luftomsättning av ca 1,1 oms/h.

Radon- och radondotterhalt

Radon- och radondotterhalter uppmättes momentant med zinksulfidflaskor resp filter, Kusnetz metod. Resultat redovisas i tabell 5-2-15.

Tabell 5-2-15 Uppmätta radon- och radondotterhalter med RDA-200 i Hus G samt beräknade jämviktsfaktorer (F) vid momentanmätningar 85-01-15

	Rum	$\frac{RnD}{Rn}$	F	(Bq/m <sup>3</sup> )
<u>Övre plan</u>	Kök	210		
		583	0,36	
	Vardagsrum	222		
		586	0,38	206
				0,38
	Sovrum	158		540
		469	0,34	
	Sovrum	234		
525		0,45		
344				
<u>Nedre plan</u>	Gillestuga	1055	0,33	
	Sovrum, källare	381		348
		1265	0,30	1042
	Tvättrum	320		
808		0,40		
265				
Huset		0,35		
	755			

Av mätningarna framgår att man med nuvarande ventilationsinstallation håller radondotterhalten under 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Om metodbeskrivningen för öppen spårfilm tillämpas erhålles ett medelvärde av 280 Bq/m<sup>3</sup> RnD. Även om man reducerat radondotterhalten avsevärt ser man av radonmätningen att radonet från marken kommer in i huset huvudsakligen via gillestugan och sovrummet på bottenplanet, vilka bägge har låga jämviktsfaktorer och högre radonhalter.

Vad gäller radonhalten i tilluften kunde halter på ca 30 - 50 Bq/m<sup>3</sup> uppmätas, vilket skulle innebära en överläckning på ca 5 % mellan till- och frånluften, vilket för denna typ av värmeväxlare är normalt.

HUS G

HUSNYCKEL

1. GEOLOGI	
GRUS & SAND	<input checked="" type="checkbox"/>
MORÄN	<input type="checkbox"/>
LERÄ	<input type="checkbox"/>
BERG	<input type="checkbox"/>

2. HUSTYP	
1-PLAN	<input checked="" type="checkbox"/>
2-PLAN	<input type="checkbox"/>
KÄLLARE	<input checked="" type="checkbox"/>
SOUTERRÄNG	<input type="checkbox"/>
KRY PGRUND	<input type="checkbox"/>

3. BYGGNADSMATERIAL	
TRÄ	<input type="checkbox"/>
BETONG	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG VIT	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG BLÅ	<input checked="" type="checkbox"/>

4. VENTILATION	
SJÄLVDRAG	<input checked="" type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FT	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
LUFTOMSÄTTNING:	
BOSTAD oms/h	
KÄLLARE oms/h	
UNDERTRYCK Pa	

5. RADONHALT FÖRE	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS	2850 Bq/m <sup>3</sup>
BOSTAD	2700 Bq/m <sup>3</sup>
KÄLLARE	3000 Bq/m <sup>3</sup>
MARK (Rn)	>60 kBq/m <sup>3</sup>

6. ÅTGÄRD	
TÄTNING	<input type="checkbox"/>
FOLIE	<input type="checkbox"/>
GOLVSUG	<input type="checkbox"/>
VENTILATION	<input type="checkbox"/>
ÖKAT SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input checked="" type="checkbox"/>
KRY PGRUND VENT	<input type="checkbox"/>

7. RADONHALT EFTER	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS	265 Bq/m <sup>3</sup>
BOSTAD	205 Bq/m <sup>3</sup>
KÄLLARE	350 Bq/m <sup>3</sup>
REDUKTION	%

8. LUFTOMSÄTTNING EFTER	
BOSTAD	1,1 oms/h
KÄLLARE	oms/h
UNDERTRYCK	4 Pa

9. KOSTNADSEFFEKTIVITET	
KOSTNAD	30 kkr
REDUKTION	2585 Bq/m <sup>3</sup>
ANTAL PERS	4 st
EFFEKTIVITET	1,80kr/mSv

10. DIAGNOS	
LÄTT	<input type="checkbox"/>
NORMAL	<input checked="" type="checkbox"/>
SVÅR	<input checked="" type="checkbox"/>
MYCKET SVÅR	<input type="checkbox"/>

## HUS H

Denna fastighet är ett enplanshus med inredd källare belägen på en kulle bestående av sandig alunskiffermorän.

Gammastrålning

Gammastrålningen från byggnadsmaterialet uppmättes till mellan 45 och 105  $\mu\text{R/h}$ .

Ventilation

Huset är utrustat med två separata ventilationsaggregat vilka betjänar över- resp undervåningen i huset. De är av typ Rexovent från Sv Fläkt resp Villasparbössan från PM Luft.

Radonåtgärderna i denna fastighet har utförts i etapper där det först installerade ventilationssystemet inte reducerade radonhalten tillräckligt på grund av dålig luftfördelning. Man fick då i stort sett göra om hela installationen och för att klara av önskade luftflöden installera ytterligare ett aggregat.

Fastighetsägaren har uppmärksammat en stor ökning av energiförbrukningen i huset vilket troligen kan hänföras till ventilationen.

I tabell 5-2-16 redovisas de uppmätta luftflödena och temperaturer i donen för de två aggregaten.

Tabell 5-2-16 Uppmätta luftflöden i don i Hus H med två FTX-anläggningar, typ Rexovent resp Villasparbössan

Rum	V m/s	Q m <sup>3</sup> /h till från	t°C
<u>Rexovent Övre plan</u>			
Matplats	2,5	55	16,5
Vardagsrum	2,5	52,8	15,5
Vardagsrum	2,0	44	16,5
Gästrum	1,3	28,6	18,0
-----			
Kök	3,49	76,8	22,3
Hall	1,1	24,2	21,8
Hall	2,4	52,8	21,9
WC	2,4	52,8	25,0
<hr/>			
Övre plan		180 / 206,6	16,5/22

Rum	V m/s	Q m <sup>3</sup> /h till från	t°C
<u>Villasparbössan nedre plan</u>			
Sovrum föräldrar	1,2	26,4	21
Sovrum	1,3	28,6	21
Sovrum barn V	0,7	15,4	21
Sovrum barn H	1,0	26,4	21,2
TV-rum	1,2	26,4	21,3
TV-rum	1,4	30,8	21,3
Tvätt	2,0	44,0	21,4
Tvätt	1,15	25,3	21,4
-----			
Bad	1,5	33	22,1
Hall	0,65	14,3	22,0
Hall	0,90	19,8	23,1
Hall	0,75	16,5	23,8
Tvätt	0,5	11	22,5
Tvätt	0,85	18,7	22,5
<u>Nedre plan</u>		218,9/ 113,3	21/22,5
<u>Huset</u>		399 / 319,9	19/22,2
-----			

Den uppmätta tilluftsmängden innebär för denna fastighet, som är ca 470 m<sup>3</sup>, en luftomsättning av ca 0,8 oms/h.

I samband med ventilationsmätningen genomfördes försök att mäta upp tryckbilden i husets höjddled jämfört med utomhus. Man erhöll då ett näst intill konstant undertryck i fastigheten på 1,4 Pa, vilket ökade till 4,0 Pa då köksfläkten användes. Att det inte råder övertryck i huset beror sannolikt på att skorstenseffekten i huset drar ut luft på andra ställen än genom uppmätta frånluftdon.

Detta låga undertryck kan förklaras med den obalans i ventilationssystemet som betjänar nedre planet, vilket därmed trycker in luft i byggnaden. Den luftmängden räcker alltså inte till för att skapa ett övertryck, vilket ur radonsynpunkt är bra men inte ur byggnadstekniska aspekter. Man har i detta fall erhållit ett slags minimering. Normalt skulle ett undertryck mellan 5 - 10 Pa råda.

#### Radon- och radondotterhalt

Radon- och radondotterhalter uppmättes momentant med zinksulfidflaskor resp filter, Kusnetz metod. Resultat redovisas i tabell 5-2-17.



Tabell 5-2-17 Uppmätta radon- och radondotterhalter med RDA-200 i hus H samt beräknad jämviktsfaktor (F) vid momentanmätningar 85-01-17

Rum	(Bq/m <sup>3</sup> )	$\frac{RnD}{Rn}$	F
<u>Övre plan</u>			
	705		
Vardagsrum	1741	0,40	
	801		681
Kök	2002	0,40	0,38 1801
	537		
Sovrum gäst	1661	0,32	
<u>Nedre plan</u>			
	886		
Sovrum barn	3805	0,23	
	748		
Sovrum föräld	2960	0,25	749 0,24 3290
	711		
Tvätttrum	2793	0,25	
	793		
TV-rum	3601	0,22	
	740		
Huset	2652	0,28	

Av mätningarna framgår att man vid måttillfället uppmätte ett medelvärde för huset på 740 Bq/m<sup>3</sup> RnD med fördelningen 681 resp 749 på övre resp nedre planet. Detta innebar att man här inte har erhållit reduceringar så att man kommit under gränsvärdet 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Av radonmätningar för Villaspärbössan i tilluften konstaterades halter på 100 - 150 Bq/m<sup>3</sup> utom i TV-rummet där radonhalten var 360 Bq/m<sup>3</sup>. Detta skulle innebära ett läckage av tilluft på 4 resp 10 %. 4 % är inte att betrakta som onormalt när regenerativ värmewäxling används (roterande värmewäxling) som i Villaspärbössan men 10 % är dock för högt. Rexovent-aggregatets läckage bör vara litet då rekuperativ värmewäxling används (korsströms värmewäxlare). Dock uppmättes ca 150 Bq/m<sup>3</sup> i tilluften i vardagsrummet, dvs ca 8 % läckage. Läckaget är, om även något förhöjt, inte det primära problemet. En omsättningshöjning med samma procentsats eliminerar effekten.

### Värmeekonomi

Fastighetsägaren har anmärkt på att ventilationsanläggningarna troligen lett till en onormalt ökad energiförbrukning. Med hänsyn till detta genomfördes samtidigt temperatur- och flödesmätningar samt en dataloggning av temperaturerna kring Villaspärbössan.

Av dataloggningen kunde konstateras följande temperaturmedelvärden under mätperioden jämfört med manuellt uppmätta vid don.

	Villaspärbössan	Manuell mätning vid don
$t_1$ UTELUFT	- 6,4°C	-
$t_4$ AVLUFT	- 1,9	-
$t_3$ FRÅNLUFT	+17,1	22,5
$t_2$ TILLUFT	+ 9,0	21

Man kan här konstatera att man tappar mer än 50°C på vägen tillbaka till aggregatet och att tilluften eftervärms ca 100°C i eftervärmningsbatteriet. Att differensen är så stor mellan från- och tilluft beror uteslutande på att flödesförhållandet är ojämnt,

$$T / F = 219 / 113 = 1,94,$$

dvs nästan dubbelt så mycket tilluft som frånluft.

Detta återspeglar sig också på tillufttemperaturens verkningsgrad,

$$\eta_t = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}$$

som här blir 66 %. Normalt för denna värmeväxlare är då  $T / F = 1$  ca 82 % vid ett flöde av 220 m<sup>3</sup>/h.

Detta förhållande medför att man förlorar följande effekter:

$$\Delta t = 50^\circ\text{C} \Rightarrow \text{ca } 200 \text{ W}$$

$$\Delta \eta_t = 16 \% \Rightarrow \text{ca } 300 \text{ W}$$

dvs ca 500 W jämfört med ett balanserat och bra isolerat aggregat och kanalsystem på vinden. Denna förlust motsvarar grovt 750 kWh/år = 225 kr/år.

För Rexovent-aggregatet som är bättre balanserat in-  
verkar således inte verkningsgradsförändringen lika  
mycket. Isoleringssmissar kan dock ha stor effekt.  
För detta aggregat ligger temperaturverkningsgraden  
normalt på 70 %, dvs normalt 10 % under Villaspärbössan.

70 % motsvarar en tillufttemperatur av ca 13,5°C, vilket innebär att tilluften från Rexovent-aggregatet värms de ytterligare 30 i eftervärmningsbatteriet vid detta tillfälle.

#### Radonåtgärdsdiskussion

Att minska undertrycket i huset i samband med bättre ventilation borde vara effektivt mot markradon, men man förlorar en del på att värma den luft som genom obalansen mellan till- och frånluft går förlorad. I detta fall räckte alltså inte vidtagna åtgärder och man kan av radonmätningarna konstatera att inflödet av markradon är tämligen diffust, dvs man kan inte peka på något specifikt inläckage trots förhöjda radonhalter i området TV-rum/barnrum på nedre botten.

För att med rimlig insats erhålla acceptabla radonhalter utan att ändra befintlig anläggning alltför mycket är undertrycksventilering av kapilärbrytande skikt, en s k golvsugsinstallation, en lösning.

HUS H

HUSNYCKEL

1. GEOLOGI	
GRUS & SAND	<input checked="" type="checkbox"/>
MORÄN	<input type="checkbox"/>
LERA	<input type="checkbox"/>
BERG	<input type="checkbox"/>

2. HUSTYP	
1-PLAN	<input type="checkbox"/>
2-PLAN	<input checked="" type="checkbox"/>
KÄLLARE	<input type="checkbox"/>
SOUTERRÄNG	<input checked="" type="checkbox"/>
KRYPGRUND	<input type="checkbox"/>

3. BYGGNADSMATERIAL	
TRÄ	<input type="checkbox"/>
BETONG	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG VIT	<input type="checkbox"/>
LÄTTBETONG BLÅ	<input checked="" type="checkbox"/>

4. VENTILATION	
SJÄLVDRAG	<input checked="" type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FT	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input type="checkbox"/>
LUFTOMSÄTTNING:	
BOSTAD	oms/h
KÄLLARE	oms/h
UNDERTRYCK	Pa

5. RADONHALT FÖRE	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS	3000 Bq/m <sup>3</sup>
BOSTAD	Bq/m <sup>3</sup>
KÄLLARE	Bq/m <sup>3</sup>
MARK (Rn)	kBq/m <sup>3</sup>

6. ÅTGÄRD	
TÄTNING	<input type="checkbox"/>
FOLIE	<input type="checkbox"/>
GOLVSUG	<input type="checkbox"/>
VENTILATION	<input type="checkbox"/>
ÖKAT SJÄLVDRAG	<input type="checkbox"/>
MEKANISK F	<input type="checkbox"/>
MEKANISK FTX	<input checked="" type="checkbox"/>
KRYPGRUND VENT	<input type="checkbox"/>

7. RADONHALT EFTER	
Rn <input type="checkbox"/>	RnD <input checked="" type="checkbox"/>
HUS	740 Bq/m <sup>3</sup>
BOSTAD	681 Bq/m <sup>3</sup>
KÄLLARE	749 Bq/m <sup>3</sup>
REDUKTION	75 %

8. LUFTOMSÄTTNING EFTER	
BOSTAD	0,8 oms/h
KÄLLARE	0,8 oms/h
UNDERTRYCK	1,4 Pa

9. KOSTNADSEFFEKTIVITET	
KOSTNAD	51 kkr
REDUKTION	2260 Bq/m <sup>3</sup>
ANTAL PERS	4 st
EFFEKTIVITET	3,53kr/mSv

10. DIAGNOS	
LÄTT	<input type="checkbox"/>
NORMAL	<input type="checkbox"/>
SVÅR	<input checked="" type="checkbox"/>
MYCKET SVÅR	<input type="checkbox"/>

Den uppföljning vi gjort på åtgärdade radonhus avser i huvudsak samma hus som finns med i en tidigare rapport från Statens provningsanstalt med beteckning SP-Rapp 1982:37 "Radonhus, exempel på åtgärder".

Syftet med denna uppföljning har varit att konstatera om åtgärderna fungerar även några år efter installationen dvs att det fortfarande är låga radonhalter. Totalt har vi gjort mätningar i sju hus där olika typer av åtgärder har gjorts. De egenskaper vi mätt är luftomsättning, radon- och radondotterhalt, tryckförhållanden m m.

Ett sätt att mäta effektiviteten hos åtgärden är att beräkna kostnaden för åtgärden i förhållande till sänkningen av radonhalten uttryckt i mSv/år. Effektiviteten definierad på detta sätt redovisas för de sju husen i tabell 6.1. I de kostnader som vi angett för åtgärderna i tabellen har ej medtagits årliga räntekostnader. Orsaken är att räntenivån har ändrats ett flertal gånger de senaste åren.

Vilken åtgärd som gjorts i respektive hus och kostnaden för den redovisas nedan.

- Hus 1. Undertrycksventilering i grunden och ventilering av uppreglat golv. Kostnad 25 700,-
- Hus 2. Undertrycksventilering i grunden. Kostnad 17 500,-
- Hus 3. Undertrycksventilering i grunden och tätning av golvbrunn. Kostnad 17 500,-
- Hus 4. Ökad luftomsättning, tätning av rörgenomföring, gjutning av golv och inspektionslucka. Kostnad 70 000,-
- Hus 5. Ökad luftomsättning och undertryck i kryputrymme. Kostnad 22 200,-
- Hus 6. Tapetsering med täta tapeter (PVC). Kostnaden är ej känd.
- Hus 7. Ökad luftomsättning och ventilering av uppreglat golv. Kostnad 35 000,-

Tabell 6.1 OBS! Investeringskostnad.

Hus	Reduk- tion RnD Bq/m <sup>3</sup>	Antal boende i huset	Dos* reduk- tion mSv/år	Kost- nad** kr/år	Åtgärds- kostnad/år under 10 år kr/mSv	Investering plus under- hållskostnad under 20 år***	Kostnad för åtgärden under 20 år kr/mSv
1	1350	3	324	2200	7	30800	4
2	1120	3	269	1500	6	21000	3
3	1335	3	320	1500	5	21000	3
4	2125	5	850	6000	7	84000	4
5	850	4	272	1900	7	26600	4
6	0	-	0	-	-	-	-
7	1290	4	413	3000	7	42000	4

\* Omräkningsfaktor 0,08 mSv/Bq/m<sup>3</sup>, år, person  
(Unsclear 82)

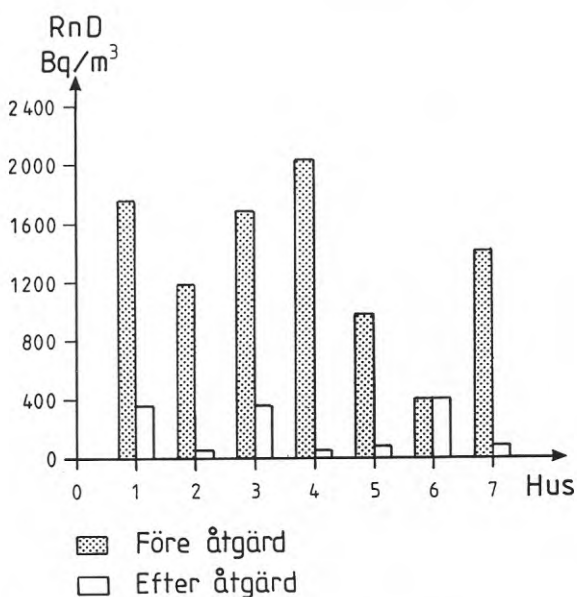
\*\* 10 % av totala installationskostnaden

\*\*\* 20 års dosreduktion, relaterad till installa-  
tionskostnad och underhållskostnad under 20 år.

Som framgår av tabell 6.0.1 varierar kostnaden per år mellan 1500-3000 kr exklusive ränta för fem hus (räknat på 10 års avskrivning). Detta är ganska låga tal vilket visar att den utförda åtgärden haft god effektivitet. I ett hus är kostnaden 6000 kr per år exklusive ränta vilket inte heller är speciellt högt sett mot bakgrund att åtgärderna i detta hus var omfattande. Hus 6 har vi inte räknat fram några kostnader för vilket kommenteras senare. Kostnaderna och effektiviteten för en åtgärd står delvis också i proportion till hur hög radonhalten var innan åtgärden.

Det går inte bara att beräkna dosreduktionen per år och kostnaden för denna. En husägare är knappast nöjd om det efter åtgärd fortfarande är radondotterhalter på t ex 500 Bq/m<sup>3</sup>. Målet måste vara, och det är i regel också husägarens, att det blir så låg radondotterhalt som möjligt efter åtgärd. I de hus som vi har undersökt har resultatet efter åtgärd varierat. I figur 6.0.1 framgår radondotterhalten före och efter åtgärd i de sju husen.





Figur 6.0.1

Det skall observeras att radondotterhalten i figur 6.0.1 är medelvärde för de olika bostadsplanen.

I de flesta hus har därför radondotterhalten framförallt före åtgärd varit betydligt högre i nedersta bostadsplanet än de andra planen. I det nedersta planet har endast de utrymmen som är inredda tagits med i de redovisade resultaten.

Av figur 6.0.1 framgår att fyra hus har mycket låga radondotterhalter efter åtgärd. Tre hus har halter runt 400 Bq/m<sup>3</sup>. Dessa hus anser vi inte vara fullständigt åtgärdade utan det behövs kompletterande åtgärder för att erhålla radondotterhalter som markant understiger 400 Bq/m<sup>3</sup>.

## 6.1 Kommentarer för respektive hus

### Hus 1

Huset är i ett plan med delvis inredd källare. Det finns endast radonavgivande byggnadsmaterial i källarens icke bärande väggar.

Följande åtgärder har gjorts: undertrycksventilering i det kapillärbrytande skiktet under bottenplattan och ventilering av uppreglat golv.

Före åtgärd var radondotterhalten ca  $1700 \text{ Bq/m}^3$ , omedelbart efter att undertrycksventileringen installerats sänktes radondotterhalten till ca  $800 \text{ Bq/m}^3$ .

Detta var fortfarande för höga radondotterhalter och efter omfattande mätningar kunde vi lokalisera inläckning av markradon i ett rum. Huset åtgärdades ytterligare med att ventileras golvet i det rum som markradonen kom in i. Detta var möjligt att göra eftersom golvet var uppreglat och medgav ventilering. Då sjönk radondotterhalten till ca  $390 \text{ Bq/m}^3$ . Nu drygt tre år efteråt är värdet fortfarande nästan  $400 \text{ Bq/m}^3$ .

Vår uppfattning är att radondotterhalterna troligtvis går att sänka ytterligare med enkla metoder. Ventilationen i bostaden är bra så den skall inte ökas. Där emot är det ganska stort undertryck inne (4-6 Pa) i förhållande till ute. Minskas tryckskillnaden till 2-3 Pa kommer radontransporten från marken att minska. Trycksänkningen kan åstadkommas genom komplettering av tilluftsventiler.

Detta skulle också vara positivt för ventileringen av det uppreglade golvet eftersom chanserna ökar att hålla undertryck i golvet i förhållande till bostaden. Är det undertryck i hela golvet kommer heller ingen radon från marken upp i detta rum.

### Hus 2

Huset är ett souterränghus med självdragsventilation. Det finns inget radonavgivande byggnadsmaterial i huset.

Följande åtgärder har gjorts: undertrycksventilering i det kapillärbrytande skiktet under bottenplattan.

Radondotterhalten var före åtgärd ca  $1200 \text{ Bq/m}^3$ , omedelbart efter åtgärd hade värdet sjunkit till under  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Nu, fyra år efteråt, är värdet fortfarande under  $100 \text{ Bq/m}^3$  vilket visar att åtgärden fungerar bra.

Kostnaden för åtgärden kan anses vara något hög. En del av orsaken till detta var att rödragningen från golvet och ut till det fria fick göras om en gång.

I området som huset är beläget i går en pegmatitgång som var radonavgivande. Misstankar fanns därför att fler hus kunde ha höga radondotterhalter och mätningar gjordes i ytterligare tjugo hus. Inget av husen hade något radonavgivande byggnadsmaterial. Resultatet blev att ett hus hade en radondotterhalt på drygt 200 Bq/m<sup>3</sup> medan de andra husen hade under 100 Bq/m<sup>3</sup>.

### Hus 3

Huset är i ett plan med delvis inredd källare. Huset har självdragsventilation med mekanisk köksfläkt. Det finns radonavgivande byggnadsmaterial i icke bärande innerväggar.

Följande åtgärd har gjorts: undertrycksventilering i kapillärbrytande skiktet under bottenplattan och tätning av golvbrunn.

Före åtgärd var radondotterhalten ca 1700 Bq/m<sup>3</sup>, omedelbart efter åtgärd (undertrycksventilering) hade värdet sjunkit till drygt 300 Bq/m<sup>3</sup>. Nu, drygt tre år efteråt, är värdet strax under 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Efter första åtgärden gjordes omfattande mätningar för att klarlägga var radonet från marken kom in i bostaden. Till slut kom vi fram till att det var vid en golvbrunn som radonet läckte in från marken.

När golvbrunnen tätades provisoriskt med plast och undertrycksventileringen stängdes av sänktes radonhalten till strax under 100 Bq/m<sup>3</sup> i bostaden. Under plasten vid golvbrunnen var radonhalten ca 38 000 Bq/m<sup>3</sup>. Att täta golvbrunnen permanent gav dock ingen effekt trots att vi vet att detta var läckagestället.

Varför tätningen av golvbrunnen inte gav någon effekt skulle kunna bero på att tätningen misslyckades. Detta är dock inte troligt. Däremot skulle det kunna bero på otätheter i fläkthuset eller kanalsystemet efter fläkten som skapar undertryck under bottenplattan. Är det otätt på dessa ställen kan radon från marken komma in i bostaden eftersom det är övertryck i kanalsystemet efter fläkten (före fläkten är det undertryck). Fläkten bör därför placeras utanför huskroppen.

Att radondotterhalten är något högre nu än när åtgärderna gjordes kan också bero på att det blivit nya sprickor, och därmed läckageställen, i betongen. Be-

tongen hade t ex spruckit vid en kanalgenomföring i bottenplattan vid vår sista mätning. Vid detta ställe kommer det knappast upp radon från marken men det kan försämrade undertrycksventilationen på så sätt att luft delvis sugas från bostaden istället för marken.

Radonhalten skulle troligtvis kunna sänkas om till-luftsventiler monterades i huset. Detta skulle minska tryckskillnaden mellan inne-ute och därmed också över bottenplattan. Dessutom skulle ventilationen öka inomhus vilket också minskar radonhalten.

#### Hus 4

Huset är i två plan med källare. Det finns radonavgivande byggnadsmaterial i både ytter- och innerväggar i bostadsplanen.

Följande åtgärder har gjorts: luftomsättningen ökades inne genom mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning FTX, tätning av rör genomföring, gjutning av öppet golv (jordgolv) och inspektionslucka.

Före åtgärd var radondotterhalten ca 800 Bq/m<sup>3</sup> i bostadsplanen. Efter första åtgärden, som var att öka ventilationen, ökade radondotterhalten till drygt 2000 Bq/m<sup>3</sup> (medelvärde för både bostad och källare). Denna åtgärd gjorde husägaren själv och han hade inte varit i kontakt med någon sakkunnig inom radon före åtgärden.

Husägaren misstolkade resultaten från mätningen före åtgärd. Han misstänkte aldrig att bostaden fick ett tillskott av markradon trots att radondotterhalten var såpass hög som cirka 800 Bq/m<sup>3</sup> i bostaden. Hade han gjort det hade han troligtvis tagit kontakt med någon sakkunnig inom området redan på detta stadium. När vi gjorde mätningar i källaren visade det sig att det kom stora mängder radon från marken i tre rum.

1. I ett rum var det jordgolv. Radondotterhalten var drygt 13 000 Bq/m<sup>3</sup> i detta rum.
2. Kabelgenomföring i bottenplatta var otät. Radondotterhalten var drygt 19 000 Bq/m<sup>3</sup> i detta rum.
3. Inspektionslucka i källarytterväggen under entrétrappan var ej tät. Radondotterhalten var ca 33 500 Bq/m<sup>3</sup> i detta rum.

Detta åtgärdades genom att inspektionsluckan och golvet göts igen och kabelgenomföringen tätades med silikon. Radondotterhalterna sjönk efter dessa åtgärder till ca 150 Bq/m<sup>3</sup> i bostaden. Fortfarande var dock vissa detaljer inte bra.

1. Ventilationssystemet var felbalanserat vilket gav ett invändigt undertryck på ca 10 Pa. Dessutom var den totala luftomsättningen alldeles för hög, drygt 1,0 oms/h. Luftflödena ändrades så att luftomsättningen blev ca 0,5 oms/h med ett invändigt undertryck på 2-3 Pa i förhållande till atmosfären.
2. I rummet med öppet jordgolv göts en betongplatta och som extra säkerhet gjordes en mekanisk ventilering under den nya betongplattan. Bara någon decimeter från där kanalen med jordluft mynnade ut i ytterväggen gjorde byggfirman som åtgärdade huset på egen inrådan en tilluftsventil. Det fanns alltså stor risk för att den radonhaltiga luften som evakuerades från marken kom tillbaka in i huset genom tilluftsventilen. Dessa två kanaler bör sitta så långt ifrån varandra som möjligt. I detta hus tätades tilluftsventilen.

Efter justeringarna var radondotterhalten ca 50 Bq/m<sup>3</sup>, i bostaden i medeltal vilket vi också mäter upp nu, tre år efteråt.

#### Hus 5

Huset är ett souterränghus i fyra halvetage. Det finns radonavgivande byggnadsmaterial i bjälklag, inner- och ytterväggar.

Följande åtgärder har gjorts: ökad luftomsättning inne (FTX) och undertryck i ett kryputrymme i förhållande till bostaden.

Före åtgärd var radondotterhalten ca 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Omedelbart efter åtgärd hade värdet sjunkit till under 100 Bq/m<sup>3</sup>. Nu, tre år efteråt, är det ungefär samma värde.

Huset är som vi tidigare beskrivit byggt i halvetage. Halva delen av källaren är därför kryppgrund. I kryppgrunden var det ganska hög radondotterhalt vilket också påverkade radonhalten inomhus eftersom det normalt råder ett övertryck i kryppgrunden i förhållande till bostaden. Detta åtgärdades med en fläkt som vände på tryckförhållande så att det istället blev ett undertryck i kryppgrunden i förhållande till bostaden.

Med denna åtgärd finns en viss risk ur fuktsynpunkt. Varm inneluft kan komma genom otätheter i källarväggen till kryppgrunden och kondensera mot kalla ytor. Husägaren gjordes därför uppmärksam på problemet och vi föreslog att han inspekterade kryppgrunden med jämna mellanrum under kalla delen av året. Vi har inte sett någon kondens vilket ej heller husägaren har gjort efter åtgärden. Kryppgrunden bör dock även i fortsättningen vara under uppsikt.

Hus 6

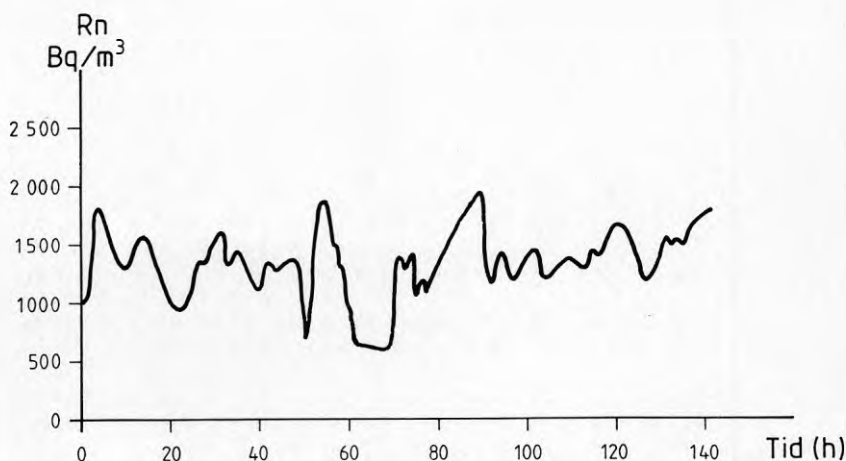
Huset är i ett plan med källare. Det finns radonavgivande byggnadsmaterial i bjälklag, ytter- och innerväggar.

Följande åtgärd har gjorts: tapetsering med täta tapeter (PVC).

Före åtgärden var radondotterhalten ca  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Omedelbart efter åtgärden hade värdet sjunkit till ca  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Nu, drygt tre år efteråt, är värdet över  $400 \text{ Bq/m}^3$ , dvs något högre än före åtgärd.

Någon förklaring till att radondotterhalterna åter har stigit är svårt att ange men det skulle kunna bero på att tapetskarvar har spruckit och att tapeterna allmänt sett är i sämre skick efter ett par år.

En annan och mer trolig förklaring är att även detta hus får ett tillskott av markradon vilket vi inte misstänkte före åtgärden. Detta grundar vi på kontinuerliga mätningar av radon som vi gjort vid uppföljningen och som visar på högt medelvärde och stora variationer mellan min- och maxvärde, se figur 6.1.1. I och för sig skulle variationerna kunna bero på att ventilationen också har varierat mycket men detta är inte sannolikt eftersom förhållandena ute med vind och temperatur har varit ungefär samma under mättiden. I hus med markradon är det ganska vanligt med stora variationer av radonhalten medan radonhalten inte varierar speciellt mycket i hus där radonet enbart kommer från byggnadsmaterialet.



Figur 6.1.1 Kontinuerlig mätning av radon i hus 6.



Orsaken till att radonhalten varierar mer i hus som får ett tillskott av markradon är att tryckskillnaden varierar över bottenplattan. Ju större variationer av tryckskillnaden desto större variation av radonhalten i bostaden.

Att vi inte upptäckt att huset får ett tillskott av markradon vid de första mätningarna är beklagligt men kanske förklarligt. Tidigare har vi inte gjort kontinuerliga mätningar av radon vilket troligtvis hade avslöjat att det fanns markradon. Det kan också vara så att det inte kom in markradon i huset tidigare men att det blivit någon eller några otätheter i bottenbjälklaget på senare tid. Dessutom hade en geoteknisk undersökning gjorts av marken där man konstaterade att det inte förelåg någon större risk för markradon.

Erfarenheterna från hus 6 visar lite av problematiken med markradon. Det gäller att tolka mätresultaten rätt och det är kanske ibland bättre att mäta en gång för mycket än för lite. Det skulle ju kunna vara så att den i stort sett halverade radonhalten efter tapetseringen i själva verket inte var någon förbättring utan en naturlig sänkning på grund av de variationer som markradon kan ge.

#### Hus 7

Huset är byggt i ett plan i vinkel med delvis inredd källare. Det finns radonavgivande byggnadsmaterial i bjälklag, inner- och ytterväggar.

Följande åtgärder har gjorts: ökad luftomsättning (FTX) och ventilering av uppreglat golv.

Före åtgärd var radondotterhalten ca  $1500 \text{ Bq/m}^3$ . Efter åtgärd hade värdet sjunkit till ca  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Nu, tre år efteråt, är värdet ungefär samma som efter åtgärd. Detta visar att åtgärden fungerar.

I detta hus har vi och Statens Geotekniska Institut i Linköping gjort många experiment för att sänka radondotterhalten (AIB har delfinansierat vissa delar av mätningarna). T ex försökte vi att skapa lägre tryck i gillestugan i källarplanet i förhållande till bostadsplanet och på så sätt hindra radon från att komma upp i bostaden. Vi försökte också att ha större frånluftsflöde i gillestugan för att därigenom åstadkomma en luftström från bostaden till gillestugan.

De flesta av dessa försök misslyckades dock. Den enda nya metod som kom fram genom experimenten var att det gick att sänka radonhalten genom att ventilerade ett uppreglat golv. Denna metod har för övrigt framgångsrikt använts i hus som luktar mögel.



6.2 Husägarnas kommentarer

I vår uppföljning av radonåtgärdade hus har vi även intervjuat husägarna. I tabell 6.2 redovisas några av husägarnas synpunkter.

Tabell 6.2

Frågor	Ja	Nej	Vet inte
Känns åtgärden säker	3		3
Är nuvarande RnD-halt för hög	1	4	1
Obehag med installationen (t ex fläktljud)	2	4	
Andra nackdelar	2	4	
Har energiförbrukningen ökat	4	2	

Som framgår av tabell 6.2.1 anser några att det finns nackdelar med åtgärderna. Några är även osäkra på om åtgärden fungerar. Nedan sammanfattas några av husägarnas övriga kommentarer och frågor. Vi vill påstå att dessa kommentarer är representativa för de flesta ägare av radonhus eftersom vi många gånger stött på samma kommentarer från andra husägare.

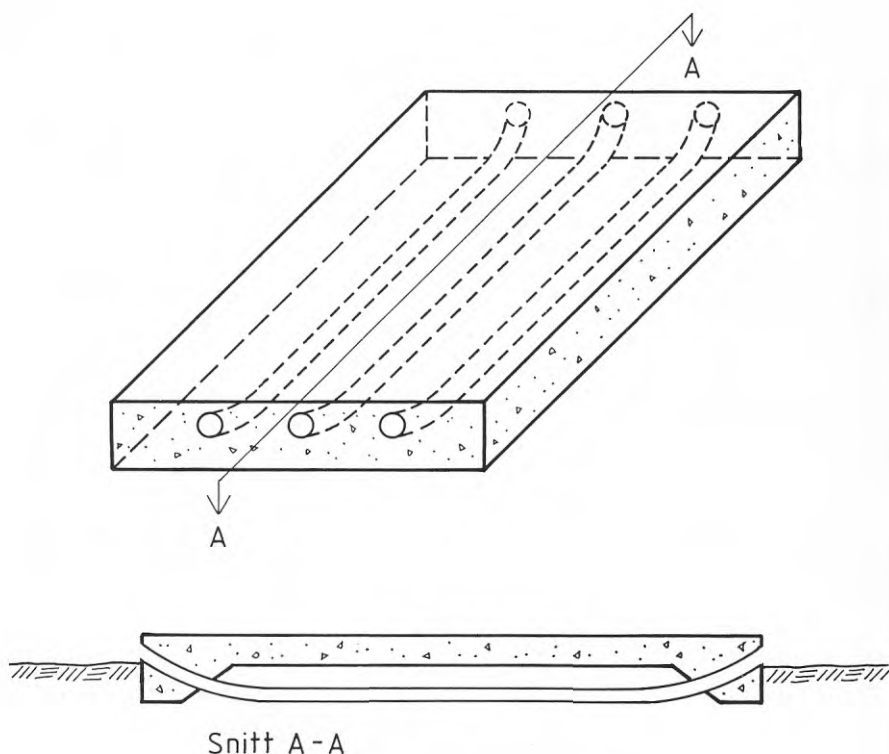
- Press, radio och TV informerar inte sakligt om problemen utan ger tvetydiga upplysningar vilket många gånger skrämmar folk i radonbostäder. T ex framhålls nästan alltid hur farligt det är att bo i radonhus istället för att ge information om att det går att åtgärda dessa hus.
- Vad är rätt ur risksynpunkt? Är det farligt att bo i radonhus?
- Informationen från egna kommunen är många gånger dålig.

Vad som är en lyckad åtgärd kan alltid diskuteras. Husägaren skulle helst se att det inte fanns någon radon alls i huset. Detta är omöjligt att åstadkomma utan oerhört stora kostnader, t ex skulle allt material behöva bytas som var radonavgivande i huset. Detta inser också de flesta husägare och därför hör vi ofta att det skall bli så låga radonhalter som möjligt efter åtgärd. När vi frågar vad som är så lågt som möjligt får vi till svar, under  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Motiveringen till detta är att husägaren inte kan förstå varför det är så stora skillnader på gränsvärdena mellan nyproducerade hus ( $70 \text{ Bq/m}^3$ ) och befintliga hus ( $400 \text{ Bq/m}^3$ ) och att det därför känns säkrast att radondotterhalten är i närheten av nybyggnadsvärdet.

Statens Geotekniska Institut, Linköping

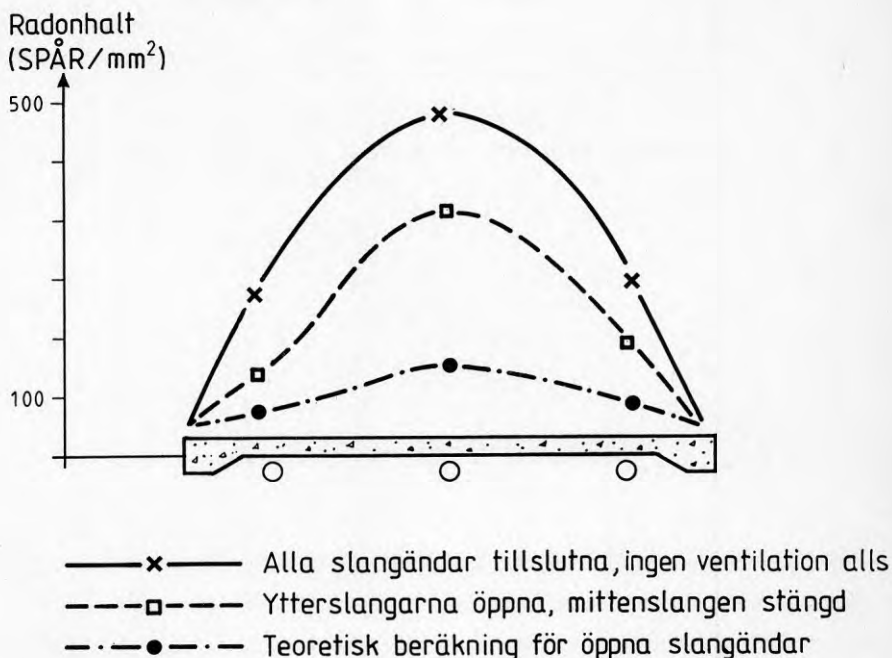
SGI gör mätningar av radon i mark sedan ett antal år. Forskning om metoder och mätprinciper i mark har bedrivits och pågår. Däremot gör man inte mätningar av radon inne i bostäder (undantaget vissa forskningsprojekt).

I nyproduktion har SGI gjort experiment med ventilation av det kapillärbrytande skiktet under bottenplattan. Dräneringsslangar lades i det kapillärbrytande skiktet med anslutning i grundsulan. Principen framgår av figur 7.1.1.



Figur 7.1.1 Princip för ventilerings av kapillärbrytande skiktet under bottenplattan.

Totalt lades dräneringsslangar under 27 hus. I ett av dessa gjorde institutet mätningar i kapillärbrytande skiktet under olika förhållanden. När samtliga dräneringsslangar var öppna minskade radonhalten under plattan genomsnittligt med ca 75 % jämfört med när slangarna var tätade. Resultaten från dessa försök framgår av figur 7.1.2.



Figur 7.1.2. Resultat från radonmätning under platta på mark.

Mätningar gjordes också av radondotterhalten inomhus i samtliga hus. Resultaten visade på mycket låga radondotterhalter. Institutet påpekar dock att man inte vet om det fanns några läckageställen i bottenplattan. De låga värdena menar man kan alltså inte enbart hänföras till att radonhalten sänkts under bottenplattan. Om läckage finns eller uppkommer är det dock en fördel om radonhalten under plattan är så låg som möjligt.

De mätmetoder som används idag för bestämning av radondotterhalten inomhus kan manipuleras anser SGI. Manipuleringen består i att detektorerna inte exponeras i bostaden på det sätt som är tänkt. Undantaget är momentanmetoder som filter- och trådmetoden förut-

satt att flera mätningar görs efter varandra. Institutet anser vidare att de flesta kommuner lämnar mätresultaten till husägarna utan att ge kommentarer. Detta kan innebära att fel åtgärd görs av husägaren.

SGI planerar forskning om hur riskbedömningen i mark ska relateras till radonhalten inomhus. Man anser att det inte är klarlagt att indelningen i hög-normal-lågriskområden korresponderar mot risken för att gränsvärdet avseende radondotterhalt inomhus överskrids. Det kan finnas egenskaper utöver markens radonhalt, luftgenomsläpplighet och fuktighet som har betydelse vid riskbedömningen.

Uppgiftslämnare för SGI är Bengt Rosen och Alf Lindmark. Figurerna är gjorda efter en rapport med beteckningen SGI 2-332/80.

## 7.2 SGAB - Sveriges Geologiska AB, Luleå

Föredrag vid IVAs radonsymposium 1985-12-04

## RADONHUSEN - VAR FINNS DE OCH HUR HITTAR MAN DEM?

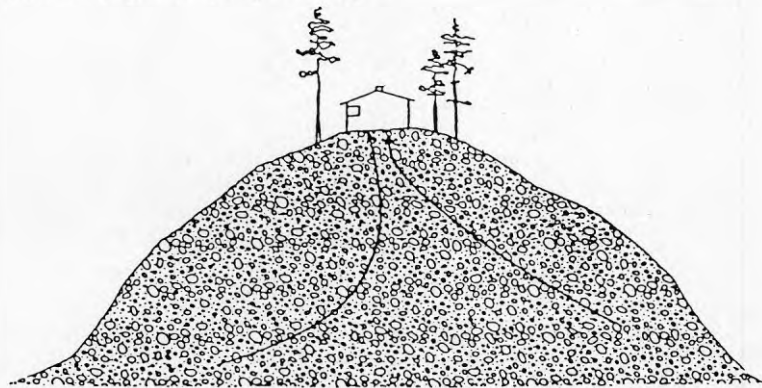
Geolog Gustav Åkerblom, Sveriges Geologiska AB (SGAB)

Introduktion

Någon aktuell uppgift om i hur många svenska bostäder som radon- eller radondottermätningar har utförts finns inte idag. Vid den sista sammanställningen som gjordes hösten 1984 på socialstyrelsens initiativ, hade av kommunerna mätningar utförts i ca 30 000 bostäder men då saknas uppgifter från flera län. Troligen har kommuner och enskilda idag mätt radon i 45 000 - 60 000 bostäder, vilket är mer än vad man gjort i något annat land. Huvuddelen av mätningarna är utförda i blåbetonghus, det vill säga hus som innehåller byggnadsmaterial av alunskifferbaserad gasbetong, men många av mätningarna har gjorts för att spåra hus där markradon kan vara ett problem.

Uppföljningarna av mätresultaten och den intensifierade forskningen om radon har resulterat i att vi idag har långt bättre kunskaper om orsakerna till radon i hus än vad vi hade när radonutredningen tillsattes 1979. Då fokuserades radonproblemet på blåbetonghusen medan markradon endast ansågs utgöra ett problem i områden med uranrik alunskiffer och uranrika graniter.

När de första mätresultaten började komma in från radonmätningarna i blåbetonghusen visade det sig att mycket höga radondotterhalter, 2 000 - 10 000 Bq/m<sup>3</sup> (bequerel per kubikmeter) hade uppmätts i några blåbetonghus byggda på rullstensåsar bl a i Sollentuna och Botkyrka (fig 7.2.1).



Figur 7.2.1 Radonhus på rullstensås. Principskiss visade hur jordluften rör sig genom åsgruset.

Sådana höga radonhalter kunde inte orsakas av blåbetongen, varför radonet måste komma från marken trots att åsmaterialet inte har någon högre uranhalt än normalt.

Vid besiktningar av husen framkom att radonhalten i jordluften i åsgruset under dessa hus ligger på 70 000 - 100 000 Bq/m<sup>3</sup> och att jordluft via hål i källargolven sögs in i husen på grund av det svaga undertryck som råder inomhus. Det var ju då inte så konstigt att radonhalterna inomhus blev mycket höga när per timme några kubikmeter jordluft med radonhalter på 70 000 Bq/m<sup>3</sup> läckte in i huset.

När Sveriges Geologiska AB (SGAB) i samarbete med Bjerking ingenjörbyrå AB undersökte orsaken till radondotterhalter kring 1 000 Bq/m<sup>3</sup> i hus på sprängstensfyllning (figur 7.2.2), fann vi att radonhalten i jordluften i fyllningen låg på 20 000 - 50 000 Bq/m<sup>3</sup> och att fyllnadsmaterialet hade normal uranhalt.



Figur 7.2.2 Radonhus på sprängstensfyllning. Principskiss visande lufttransport genom fyllningen.

Fortsatta undersökningar visade att radonhalten i jordluften alltid är tillräckligt hög för att ge högre radondotterhalter inomhus än 400 Bq/m<sup>3</sup>, under förutsättning:

- att marken är så genomsläpplig att jordluften kan transporteras genom den
- att det finns hål i husets grund genom vilka jordluften kan läcka in
- att det råder ett lägre tryck inomhus än utomhus
- att mängden tillgänglig jordluft är tillräckligt stor för att radonhalten i den skall kunna upprätthållas även vid ett kontinuerligt uttag av jordluften.

De nya rönen visade att förutsättningar finns för att markradon skall vara orsak till förhöjda och höga radonhalter inomhus var som helst i Sverige. Från att radon i hus tidigare hade varit ett problem främst knutet till användningen av blåbetong framstod nu markradon som den främsta orsaken till radon i hus. För att åtgärda radonproblemet var det inte längre tillräckligt med att spåra upp blåbetonghusen



och förbättra ventilationen i dem. Nu gällde det att hitta vilka hus som var särskilt otäta mot marken och stod på genomsläppliga jordarter och/eller på mark med förhöjd radioaktivitet samt att åtgärda dessa hus och förhindra att nya hus byggdes på sådant sätt att radon från marken kunde läcka in i husen.

### Radon i mark och hus

För att effektivt planera och utföra spårning av radonhus behöver man känna till vissa grundläggande fakta om radon i mark och hus. Teoretiska beräkningar och utförda experiment har visat att radonavgången från byggnadsmaterialet i ett hus, som helt är byggt av den mest radiumrika blåbetongen från Västergötland, inte kan ge upphov till högre radondotterhalter än  $400 \text{ Bq/m}^3$  (gränsvärde för högsta tillåtna årsmedelvärde för radondotterhalt i bostadshus), om luftomsättningen inomhus är större än 0.5 oms/timme. Om luftomsättningen är mindre, t ex 0.2 oms/timme kan radondotterhalten nå nivåer på upp mot  $1\,000 \text{ Bq/m}^3$ .

Den maximala radondotterhalt, som kan erhållas från byggnadsmaterialet i ett trähus med en 15 cm tjock bottenplatta av betong är vid luftomsättningen 0.2 oms/timme ca  $40 \text{ Bq/m}^3$ , om ballasten i betongen utgörs av granit med en radiumhalt som ligger strax under radiumindex 1.0 (radiumindex 1.0 =  $200 \text{ Bq/kg}$  radium-226).

Allt radon, som inte kommer från byggnadsmaterialet eller från utomhusluften (mindre än  $5 \text{ Bq/m}^3$ ), beror på radon som läcker in från marken. Man kan i varje hus med markkontakt räkna med ett bidrag av radon från marken. Något sådant bidrag finns t ex inte i lägenheter i flerfamiljshus om lägenheterna saknar markkontakt. Detta, att ett bidrag av markradon saknas och det förhållandet att lägenheterna i flerfamiljshus i allmänhet tycks ha bättre ventilation än småhusen, är orsaken till att radondotterhalterna i lägenheterna utan markkontakt i flerfamiljshus av blåbetong mycket sällan överstiger  $400 \text{ Bq/m}^3$ .

Mätningar av radonhalten i jordluften har i Sverige utförts i samband med forskning kring markradon och vid undersökningar av markradonförhållandena inför byggande. I dag vet vi att radonhalten i luften i jordens porer under ett hus normalt ligger på  $10\,000 - 50\,000 \text{ Bq/m}^3$  och att radonhalten kan bli mycket hög  $200\,000$  till mer än 1 miljon  $\text{Bq/m}^3$ , om markens radiumhalt är förhöjd (tabell 7-2-1).

Tabell 7-2-1 Normala halter av radium-226 i jord och radon-222 i jordluft i svenska jordarter, uppmätta på 1 meters djup

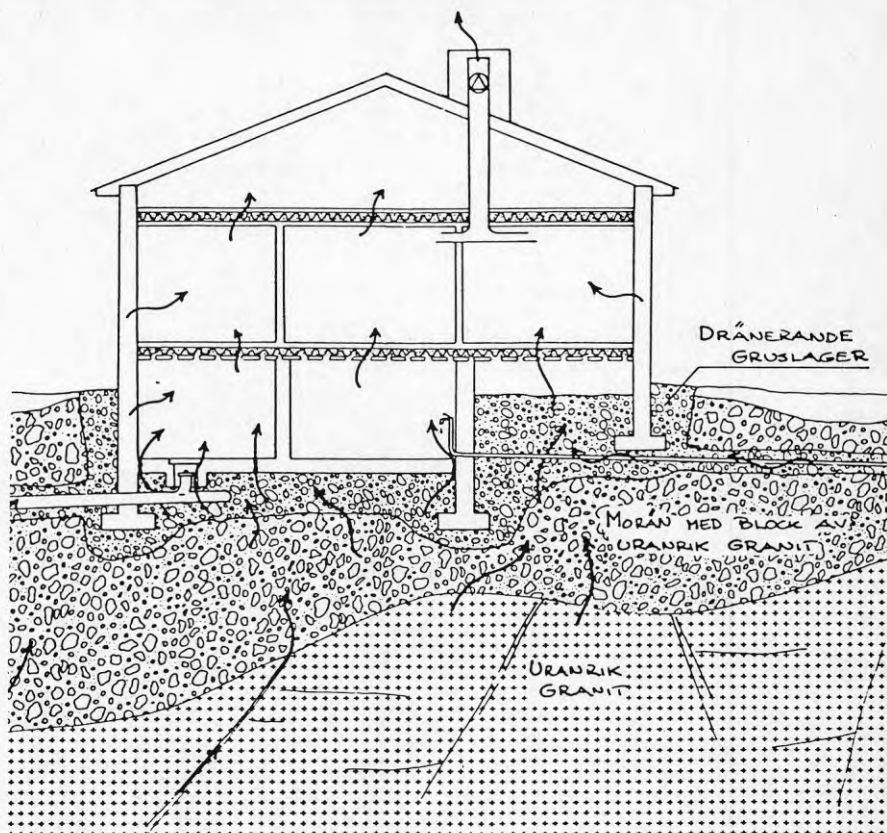
	Ra-226 Bq/kg*		Rn-222 Bq/m <sup>3</sup>	
Morän, normal	15 -	62	5000 -	30000
Morän med granitiskt material	30 -	125	10000 -	60000
Morän med uranrikt granitiskt material	125 -	360	10000 -	200000
Åsgrus	30 -	75	10000 -	150000
Sand, silt	6 -	75	2000 -	30000
Lera	25 -	100	10000 -	80000
Jordarter som innehåller alunskiffer	175 -	2500	50000 -	>1 mill

\* 12.3 Bq/kg Ra-226 är vid jämvikt inom sönderfallserien från U-238 ekvivalent med 1 gram U per ton

Redan vid normala radonhalter i jordluften, 20 000 - 30 000 Bq/m<sup>3</sup>, behövs det inte mer än att en eller ett par kubikmeter luft per timme tränger in i en villa för att radonhalterna inomhus skall överstiga 70 Bq/m<sup>3</sup>, högsta tillåtna radondotterhalt i ett nybyggt hus. Är radonhalten i jordluften kring 1 miljon Bq/m<sup>3</sup> behövs det bara ett inläckage, som är mindre än 200 liter per timme, för att nå radondotterhalter inomhus som överstiger 400 Bq/m<sup>3</sup>.

För att jordluften skall kunna transporteras fram till huset behöver jorden vara reellt genomsläpplig (permeabel). Exempel på marktyper, där jordluften nära nog obehindrat kan röra sig, är åsgrus, blockrik grusig sandig morän och fyllnadsmassor med sprängsten. Ju finkornigare en jordart är och ju högre vattenhalt den har desto lägre är permeabiliteten. I vattenmättad silt och lera kan luften över huvud taget inte aktivt transporteras. Dessa förhållanden är orsak till att radonhalten ofta är hög i hus som är byggda på grusåsar, medan få hus som är byggda på silt och lera har förhöjda inomhushalter av radon.

Om jordluften skall kunna läcka in i ett hus fordras hål i grunden mot marken. I figur 7.2.3 (sidan 5) visas exempel på olika tillförselvägar för radonet. Hålen behöver dock inte vara särskilt stora. En några meter lång och ett par millimeter bred spricka genom en bottenplatta räcker för att i normalfall tillåta ett inläckage av ett par kubikmeter luft per timme.



Figur 7.2.3 Exempel på ett radonhus. Radonet kommer från blåbetong i ytterväggarna samt från marken genom otätheter i bottenplattor och i bjälklaget mot krypgrunden. Frånluftsfläkt en ökar tryckskillnaden mellan inomhusluften och utomhusluften, vilket bidrar till att jordluften "sugs" in i huset.

#### Krav på skydd mot markradon

För att i nya hus minska riskerna för markradon har statens planverk i rapport 59 1982: "Radon - planläggning och skyddsåtgärder" rekommenderat att nya hus i normalfall byggs med radonskyddat utförande, vilket innebär en tätning av öppna hål mot marken och ett bättre skydd mot sprickbildning i bottenplattorna än som hittills varit fallet. På mark där markradonrisken är särskilt hög skall husen byggas radonsäkert, vilket kan innebära krav på förbättrad grundkonstruktion eller ventilation av marken och dräneringslagret under huset. Endast i de fall, där radonrisken är garanterat liten, kan nybyggnad ske på traditionellt sätt. Rekommendationerna att nya hus i normalfall skall byggas radonskyddat innebär

att nya hus kommer att byggas med bättre tätning mot marken än vad som tidigare varit fallet. Detta bör på sikt leda till minskade radonhalter i det svenska bostadsbeståndet.

Begreppen radonskyddat och radonsäkert är kopplade till markförhållandena, där marken klassas i lågradon-, normalradon- respektive högradonmark. I korthet är högradonmark mark med högre radonhalt i jordluften än 50 000 Bq/m<sup>3</sup> och lågradonmark mark där radonhalten är lägre än 10 000 Bq/m<sup>3</sup>, eller mark med lera eller silt vilka är så impermeabla jordarter att någon aktiv transport av jordluft inte kan förekomma. I plansammanhang används begreppen lågrisk-, normalrisk- respektive högriskområden för att översiktligt ange markradonrisken för olika delområden t ex inom en kommun eller tätort.

### Spårning av radonhus

Radonutredningen uppskattade antalet hus som till större eller mindre del är byggda av blåbetong till ca 300 000. Man kan idag anta att de flesta av de hus som till stor del är byggda av blåbetong har uppspårats genom kommunernas aktiva arbeten. Metoderna har vanligen varit: spårning genom mätning från bil eller till fots av gammastrålningen från huset, genomgång av byggnadshandlingar och anmälningar från husägare och hyresgäster. Oftast har kartläggningen av blåbetonghusen skett genom en kombination av dessa sökmetoder. I mycket stor utsträckning torde radondotterhalterna i de uppspårade småhusen vara mätta.

Att spåra upp blåbetonghusen har varit ett kostsamt och tidsödande arbete men relativt enkelt eftersom de avslöjar sig genom att gammastrålningen från blåbetongen är betydligt högre än från andra byggnadsmaterial. Därför har det gått att hitta husen genom att utifrån mäta gammastrålningen. Åtminstone har det därigenom varit möjligt att hitta de hus, i vilka blåbetongen utgör en så stor del av byggnadsmaterialet, att det kunnat orska ordentligt förhöjda radondotterhalter inomhus.

Att spåra upp de hus, som har förhöjda halter av inomhusradon på grund av markradon, är mycket besvärligare än att hitta blåbetonghusen.

Eftersom man inte direkt från gatan kan säga vilket hus som är så otätt mot marken, att det av den anledningen är ett "markradonhus", skulle man egentligen behöva mäta radondotterhalterna i samtliga småhus och lägenheter med markkontakt för att hitta alla bostäder med markradonproblem. Kostnaderna för att mäta i alla de 1.7 miljoner småhus, som vi har i Sverige, är ungefär 850 miljoner kronor om kostnaden för mätningarna beräknades till 500 kronor per hus (vilket nog är lågt räknat). Om ambitionsgraden

sätts lägre än att hitta alla radonhus kan spårningen riktas till speciella typer av problemhus och till områden som utgör problemmark. För att få stort utbyte av mätningarna bör dessa i första hand inriktas mot hus som är grundlagda på särskilt permeabla jordarter t ex grusåsar, isranddeltan, lager av grova svallsediment, eller på mark med förhöjd uranhalt i berggrunden och ovanliggande morän, t ex i områden med uranrika graniter och uranrik alunskiffer.

För att minska mätkostnaderna skulle man kunna låta bli att mäta radondotterhalterna i hus som står på lera, silt eller finsand, eftersom vi av erfarenhet vet att andelen hus med markradonproblem är liten i dessa områden, även om det också inom dessa finns hus med förhöjda inomhushalter. Detta t ex på grund av att radonhaltig jordluft kommer in i huset via ledningsgravar för avloppledningar och värmekulvertar.

Likaledes kan man låta bli att mäta i hus som är grundlagda direkt på berg med låg uranhalt t ex kalksten, sandsten eller basiska bergarter (grönstener), eftersom markradonproblem inte kan uppstå i dessa hus på grund av den låga radonavgången från berget. Ett undantag utgör hus på kalksten som direkt underlagras av alunskiffer. I detta fall tycks radon som avgår från alunskiffern kunna ge upphov till förhöjda radonhalter inomhus.

Att det på detta sätt går att rikta undersökningarna visar erfarenheter från nu utförda husmätningar. I Skåne där marken utanför områdena med alunskiffer i berggrunden har låg radioaktivitet och oftast låg permeabilitet har man bara funnit något enstaka hus (blåbetonghus) med en radondotterhalt över 400 Bq/m<sup>3</sup>, medan man i Sollentuna och Upplands Väsby vid spårning, som riktats till hus byggda på uranrik granit och rullstenåsar har uppmätt radondotterhalter på över 400 Bq/m<sup>3</sup> i ca 20 % av de undersökta husen. Fera av dessa hus hade halter mellan 1 000 - 4 000 Bq/m<sup>3</sup>.

Problemhusen kan vara svåra att hitta. Erfarenhetsmässigt vet vi att hus med stor yta mot marken, t ex källarhus och suterränghus är särskilt utsatta för markradon. Men även i andra typer av hus förekommer ibland höga radondotterhalter trots att husen är byggda på mark med normal radioaktivitet. Så kan fallet vara om husen har stora öppningar mot marken t ex större hål kring rör genomföringar eller springor mellan bärande väggar och gjutna bottenplattor och är grundlagda på permeabel mark t ex utfyllnad med sprängsten eller morän. I detta sammanhang vill jag varna för att betrakta krypgrundshus som en säker konstruktion mot markradon. Är inte krypgrunden väl ventilerad så kan radonhalten inomhus bli hög om bjälklaget mot krypgrunden är otätt. Särskilt inom områden med högradonmark har många krypgrundshus med höga radondotterhalter påträffats.



Den moderna byggnadstekniken medför att vi ofta omskapar naturen och gärna terrasserar sluttande mark för att få plana och lätt byggbara ytor (figur 7.2.4). Terrasserna görs genom att fylla ut och plana ut marken med sprängsten och morän. Därigenom skapas åsliknande förhållanden där fyllningen innehåller stora magasin av jordluft som lätt kan transporteras fram till husen. I t ex Tranås, Borås och Upplands Väsby har man funnit höga radonhalter i hus som står på sådana terrasser.

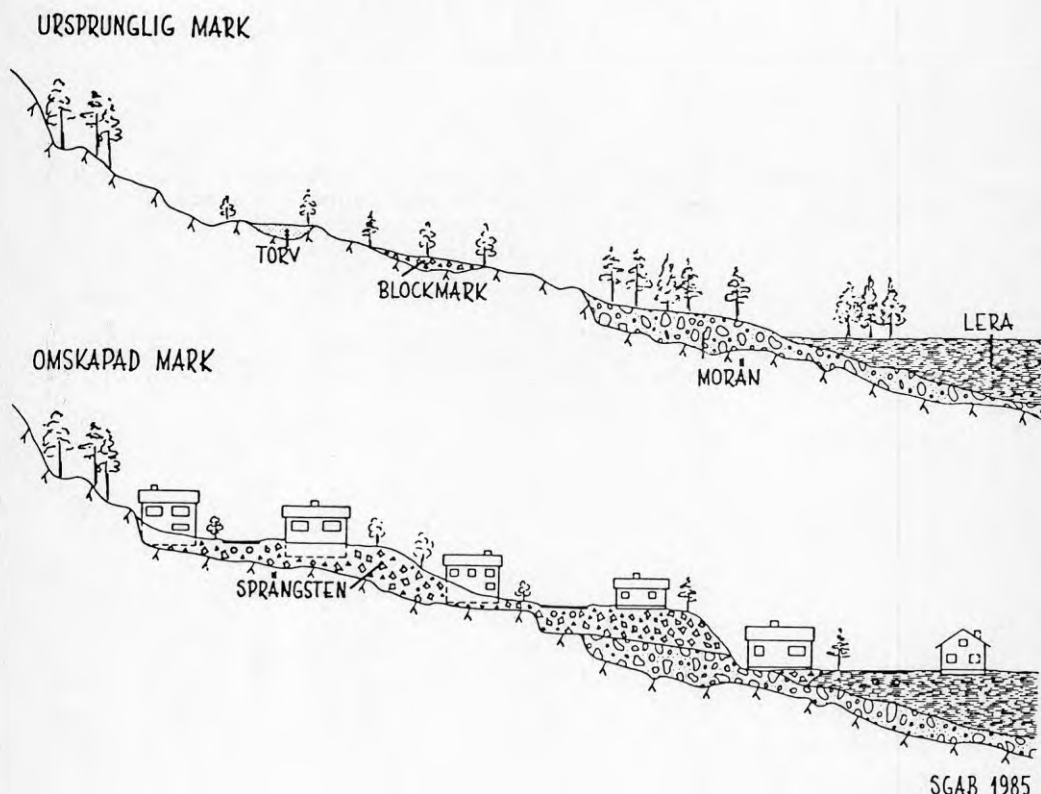
För att spåra hus som ligger inom områden med hög markradonrisk behövs kunskap om var jordarter med stor permeabilitet förekommer och om var det finns berggrund och jordlager med förhöjd uranhalt. Uppgifter om bergarter och jordarter finns ofta att hämta från geologiska kartor, prospekteringsundersökningar och geotekniska undersökningar, grusinventeringar m m. Uppgifter om radioaktiviteten finns i form av gammastrålningskartor från SGUs och SGABs flygmätningar, samt data i form av dokumentation från markundersökningar utförda vid uranprospektering.

Flygmätningar är utförda över ca 60 % av Sveriges yta men tyvärr saknas mätningar över några av stadsområdena t ex Stockholms- och Norrköpingsområdena. Dessvärre saknas även användbara och korrekta geologiska kartor över stora delar av Sverige. För att komplettera tillgängliga uppgifter om geologi och radioaktivitet kan man behöva utföra geologiska fältbesiktningar och mätningar av radioaktiviteten. De senare kan behöva omfatta markradonmätningar och gammaspektrometermätningar. Genom gammaspektrometermätningar kan man bestämma berggrundens och jordlagrets halter av uran, torium och kalium. Att detta kan vara värdefullt visar mätningar i Stockholms förorter. Vem hade kunnat ana att samma typer av radioaktiva stockholmsgraniter, apliter och pegmatiter som i Stockholms norra förorter är klart uranrika, i Stockholms södra förorter vanligen inte innehåller några förhöjda uranhalter. Detta trots att gammastrålningen är lika hög, från graniterna 15 - 40 R/h, (mikroröntgen per timme).

Den förhöjda gammastrålningen från graniterna, apliterna och pegmatiterna söder om Stockholm beror som regel på höga toriumhalter. Detta innebär inte något radonproblem, eftersom det radon ( $Rn-220$ , toron), som bildas vid sönderfallet av radium-224 i toriumserien, hinner sönderfalla innan det når in i huset.

Ett särskilt problem utgör pegmatiterna, som är bergarter av granitisk sammansättning och som ofta har höga uranhalter. De uppträder som regel i form av upp till några meter breda gångar i andra bergarter och kan som i Stockholms- och Söderhamnsområdena vara mycket frekventa. Är pegmatiterna inte blottade i hållar, är det svårt att veta exakt var de förekommer och hur uranrika de är. Två av SGAB undersök-

ta hus med höga radondotterhalter, 2 000 respektive 15 000 Bq/m<sup>3</sup>, har visat sig vara grundlagda direkt på uranrika pegmatiter som söndersprängts och använts som fyllning under och omkring husen.



SGAB 1985

Figur 7.2.4 När vi bygger idag utjämnar vi gärna naturen genom att planspränga och lägga ut fyllning i terrasser. Många radonhus står på sådan fyllning.

#### Radonriskkartor som hjälpmedel vid spårning

Många kommuner har sammanställt uppgifter om geologi och radioaktivitet för att i planeringssammanhang kunna redovisa radonrisken inom kommunernas olika områden. Dessa uppgifter kan användas som underlag vid spårningen av radonhus. I figur 7.2.5 visas som exempel på en "Radonriskkarta" ett avsnitt av den översiktliga radonriskkartan över Upplands Väsby kommun. Kartan som är i skala 1:15 000 bygger på tillgängliga uppgifter om geologin (geologiska kartor och geotekniska undersökningar) samt på markradonundersökningar, inkluderande radonmätningar och gammaspektromettermätningar, inom ett flertal områden.





Figur 7.2.5 Radonriskkarta över de centrala delarna av Upplands Väsby. Kartan är ett utdrag från en översiktlig radonriskkarta över Upplands Väsby kommun framtagen av SGAB 1984 på uppdrag av Miljö- och hälsoskyddsnämnden. Kartan är förminskad från skala 1:15000. Publicerad med tillstånd från Miljö- och hälsoskyddskontoret i Upplands Väsby kommun.



Högrisk-



Ev högrisk-



Normalrisk-



Lågriskområde

För framtagning av kartan har använts tre fältarbetsdagar vid vilka kompletterande gammadetektormätningar gjordes och besiktningar av grundförhållandena utfördes kring många av de hus i vilka kommunen mätt radon.

I kartan redovisas som högriskområden rullstensåsen väster om E4-an och ett område med uranrik yngre granit öster om E4-an. Denna yngre granit har inom de med grått raster belagda områdena ofta en uranhalt av 10 - 16 gram U per ton. Samma granit men utan förhöjt uraninnehåll förekommer även utanför de rasterlagda områdena. Där uranhalten i graniten har konstaterats vara normal, 4 - 8 gram U per ton, har marken betecknats som normalriskområde.

Yngre granit förekommer inom stora delar av kommunen, men utanför de besiktigade områdena är dess uranhalt okänd, eftersom flygmätningar saknas och det inte på kort tid går att på marken kontrollera uranhalten i graniten överallt där den förekommer. Områden med yngre granit med okänd uranhalt har betecknats som eventuella högriskområden (streckat raster). Till de eventuella högriskområdena har även förts mark med ändmoräner vilka är av landisen ihopskjutna moränvallar som höjer sig över omgivande terräng. Ändmoränerna består ofta av lucker blockrik morän som i radonriskhänseende kan likställas med åsgrus, speciellt när de, som i det här fallet, innehåller granit med förhöjd uranhalt.

I normalriskområdena ingår även mark, där berggrunden består av gnejs och äldre graniter med låg eller normal uranhalt, 2 - 5 gram U per ton och där den täckande moränen i huvudsak utgörs av dessa bergarter. Som lågriskområden har klassats mark som består av lera, silt eller sand.

I Upplands Väsby kommun hade fram till och med 1984 gjorts 651 mätningar av radondotterhalter i småhus och villor (tabell 7-2-2). 220 av dessa mätningar har utförts i blåbetonghus som är relativt jämnt fördelade över kommunen. Mätningarna visade att radondotterhalterna i 27 % av blåbetonghusen översteg 400 Bq/m<sup>3</sup> och i 10 % 800 Bq/m<sup>3</sup>. Resultaten kan jämföras med att i genomsnitt för Sverige har ca 10 % av blåbetonghusen halter som överstiger 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Det var tydligt att många av husen hade ett betydande bidrag av markradon. Speciellt gällde detta för blåbetonghusen inom området med yngre granit öster om E4-an (figur 7.2.5 sidan 10). Därför koncentrerades den fortsatta spårningen efter radonhus i huvudsak till områdena med yngre granit. Därvid mättes radonhalterna i 435 småhus och villor som saknar blåbetong. I 18 % av dessa hus översteg radondotterhalten 400 Bq/m<sup>3</sup> och i 40 % 200 Bq/m<sup>3</sup>. Några av husen hade halter mellan 2000 - 10000 Bq/m<sup>3</sup>. Flertalet av husen med höga halter är belägna inom området med

granit med förhöjda uranhalter, men det finns även utanför dessa områden några hus där markradonbidraget är stort.

Tabell 7-2-2 Resultat av mätningar av radondotterhalter (RnD-halter) i småhus och villor i Upplands Väsby kommun 1984-85. Mätningarna är huvudsakligen gjorda med spårfilm utan radondotterfilter. Sammanställningen är gjord av hälsovårdsinspektör Lars Fägersten, Miljö- och hälsoskyddskontoret i Upplands Väsby kommun.

Års- medel- värde	Hus med blå- betong spridda över kommunen	Hus som saknar blåbe- tong huvudsakligen belägna inom högrisk- områden
RnD Bq/m <sup>3</sup>	%	%
- 200	30	60
201 - 400	43	22
401 - 600	12	9
601 - 800	5	3
801 - 1 000	1	1
> 1 000	9	5
Antal hus	216 st	435 st

De uppmätta värdena kan jämföras med resultaten från de landsomfattande mätningar av radondotterhalter i bostäder som statens strålskyddsinstitut gjort. Vid dessa erhöles radondotterhalter på över 400 Bq/m<sup>3</sup> i 2 % av småhusen och över 200 Bq/m<sup>3</sup> i 5 % av husen. Det bör dock påpekas att huvuddelen av mätningarna i Upplands Väsby gjorts med spårfilm utan radondotterfilter. Denna typ av film har ofta gett 25 - 35 % för höga värden. Även om korrekationer görs för att mätvärdena kan ha varit för höga, på grund av felkalibrering av filmen, visar mätningarna i Upplands Väsby att radondotterhalterna inomhus inom högriskområdena är betydligt högre än riksgenomsnittet.

#### Hur spåra hus som är otäta mot marken?

Det går alltid, även om det kostar en del, att ta fram ett geologiskt underlag, som visar var markradonriskerna är störst, och på så sätt rikta spårningen av radonhus till riskområden samt förhindra att nya hus byggs utan åtgärder mot markradon. Svårare är det att lokalisera de hus där byggnadsutförandet är sådant och/eller grundläggningsförhållandena är sådana, att stora mängder jordluft kommer in i husen. Det är ofta inte lätt att utifrån avgöra om

ett hus är byggt på stora lager av fyllning, har jordgolv i en del av källaren eller stora utspärningar i bottenplattan.

Det är inte förvånansvärt att några av de högsta radonhalterna som uppmätts inomhus i Sverige, 8 000 - 20 000 Bq/m<sup>3</sup> har mätts i äldre hus som har innergolv vilket lagts direkt på åsgruset, eller har jordkällare med lucka i köksgolvet eller har kryppgrund med igensatta eller obefintliga kattgluggar och som är grundlagda på åsgrus eller uranrik mark. Det finns också exempel på hus byggda på genomsläpplig mark där uppenbarligen uppemot 1/4 av tilluften kommer (kom) från marken. - Men hur hitta dem? Troligen är den enda framkomliga vägen att rikta mätningarna till hus med misstänkt dålig grundläggning eller att få ägare till hus som är otäta mot marken att anmäla sitt intresse för radonmätning.

#### Uppläggning av spärning efter radonhus

Till kommuner som frågar mig hur man skall bedriva spärning efter radonhus brukar jag ge följande råd:

I första hand bör radondotterhalten mätas i hus som är byggda av blåbetong speciellt om de är byggda på högradonmark. Anledningen till att dessa hus prioriteras är att det förutom ett eventuellt tillskott av markradon, alltid förekommer en betydande radonavgång från byggnadsmaterialet. Om inte husen ligger på mark med särskild radonrisk eller är särskilt otäta mot marken, är det dock omotiverat att mäta radondotterhalten i bostäder, där blåbetong endast använts i någon enstaka vägg. Detta eftersom radonavgången på grund av den ringa totala mängden radium i byggnadsmaterialet i dessa fall inte kan vara så stor att den kan ha någon väsentlig betydelse för radondotterhalten inomhus. Inte heller är det motiverat att mäta radondotterhalten i lägenheter i flerfamiljshus av blåbetong om lägenheterna inte har markkontakt. Detta eftersom det har visat sig att radondotterhalten i dessa hus inte överskrider 400 Bq/m<sup>3</sup> (avser årsmedelvärdet), om inte ventilationen är mycket dålig (mindre än 0.3 oms/h) eller att jordluft läcker in i lägenheterna på grund av att dessa har markkontakt och är otäta mot marken.

I andra hand bör radondotterhalten mätas i småhus och villor som är grundlagda på ås- eller svallgrus, eller på berggrund som innehåller uranrika bergarter t ex alunskiffer, uranrika pegmatiter eller uranrika graniter, eller jordarter som innehåller rikligt med mineralkorn, grus, sten och block av dessa bergarter.

I tredje hand bör radondottermätningar utföras i hus, som är grundlagda på stora lager av sprängsten eller annan fyllning, så vida inte husen bevisligen har god tätning mot marken eller gammastrålningen

från fyllnadsmaterialet är låg, mindre än 8  $\mu\text{R/h}$ . I det senare fallet kan inte radiumhalten i materialet vara så hög, att radonavgången är tillräcklig för att ge radondotterhalter på mer än 200  $\text{Bq/m}^3$  inomhus.

I fjärde hand bör radondottermätningar utföras i hus byggda på morän; särskilt sandig, grusig, blockrik morän, i de fall som husens grundkonstruktion medför att de är särskilt otäta mot marken. Exempel på sådana hus är de som har jordgolv i en del av källarna, har stora hål kring rör genomföringar, öppna inspektionsluckor mot marken, stora (många) sprickor i bottenplattorna eller är byggda med längsgående betongsulor under bärande väggar. I den senare typen av grundkonstruktion bildas när betongen i bottenplattorna torkar springor mellan plattorna och källarväggarna. Genom dessa springor kan en betydande transport av markluft ske.

I sista hand görs radondottermätningar i övriga småhus och villor i mån av resurser. Det finns dock ingen anledning att mäta radondotterhalten i hus som är grundlagda på berg med särskilt låg uranhalt, som gabbro, diorit och amfibolit, eller har sådan konstruktion att de ej har markkontakt, t ex hus på plintar eller en väl ventilerad krypgrund.

Om dessa rekommendationer följs, bör det på några års sikt var möjligt, att även med begränsade mätinsatser hitta de allra flesta av de bostäder som nu har radondotterhalter vilka är högre än gällande gränsvärde, 400  $\text{Bq/m}^3$ . Sätts ambitionen till att spåra flertalet av de bostäder som har över 200  $\text{Bq/m}^3$  behöver man även mäta i många hus inom områden med normal markradonrisk.

#### LITTERATUR

- Andersson P, Clavensjö B och Åkerblom G, 1983.  
Radon i bostäder. Markens inverkan på radonhalt och gammastrålning inomhus.  
Statens råd för byggnadsforskning. Rapport R9:1983.
- Clavensjö B och Kumlin H, 1984.  
Radon i bostäder. Byggnadstekniska åtgärder vid ny- och ombyggnad.  
Statens råd för byggnadsforskning. Rapport R90:1984.
- Hildingson O, 1983:  
Radon från naturgrus och makadam. Provningsmetodik och konsekvenser för inomhusmiljö.  
Statens provningsanstalt. Teknisk rapport 1983:28.
- Mjönes L, Buren A och Svedjemark G A, 1984:  
Radonhalter i svenska bostäder. Resultat av en landsomfattande undersökning.  
Statens strålskyddsinstitut. Rapport a 84-23.



Pettersson H, et al, 1982.  
Radonexhalation från byggnadsmaterial.  
Statens provningsanstalt. Teknisk rapport SP-RAPPORT  
1983:32.

Radonutredningen, SGAB, Svenska kommunförbundet,  
1983.  
Radonmätningar i svenska bostäder. En sammanställ-  
ning av resultat från kommunernas mätningar  
1979-07-01--1982-06-30.  
Sveriges Geologiska AB, 1983.

Statens planverk, 1982.  
RADON - planläggning, byggnadslov och skydds-  
åtgärder.  
Rapport 59, 1982.



Tyréns har bedrivit forskning om åtgärder i radonhus. De gör även konsultarbeten med åtgärdsförslag. Tyréns har gjort experiment med övertryck under platta på mark som åtgärd mot höga radonhalter. Totalt har det rört sig om fyra hus.

I ett av dessa har omfattande mätningar gjorts även med andra typer av åtgärder. Innan någon åtgärd hade gjorts var radondotterhalten i bostaden ca 1750 Bq/m<sup>3</sup>. Med övertryck under bottenplattan sänktes radondotterhalten på mindre än 48 h till under 50 Bq/m<sup>3</sup>. Enligt Tyréns har radondotterhalten hållit sig kvar på denna nivå.

Tyréns menar att metoden är mycket effektiv där den kan tillämpas och att inga biverkningar har konstaterats. Dock menar man att det återstår att undersöka vilka krav som måste ställas framförallt på dräneringslagrets luftgenomsläpplighet. Dock vet man att är det ett tätt material under plattan fungerar det varken med att suga eller trycka luft under plattan.

Även ur fuktsynpunkt är övertryck under bottenplattan att föredra framför undertryck anser Tyréns. I det ovan relaterade fallet med radon sänktes relativa fuktigheten från 100 % till ca 60 % inom 3 månader. Enligt Tyréns har motsvarande effekter uppnåtts i några hus som haft fuktskador.

I torpargrunder/krypgrunder är också övertryck att föredra anser Tyréns. Även här kommer fuktbilden att ändras i positiv riktning om ineluften blåses ner. Ur energisynpunkt anser Tyréns att det sannolikt blir lägre förbrukning mot tidigare eftersom det är frånluften i bostaden som blåses ner vilket ger en typ av varmgrund. Detta gäller för övrigt även när det är platta på mark.

Tyréns påpekar vidare att vattenånga möjligtvis kan binda radon. Är det kapillär uppsugning av vatten från marken genom betongplattan skulle detta även kunna orsaka radonproblem.

Vid kontinuerlig mätning av radondotterhalten i ett hus kunde Tyréns se hur boendevanorna påverkade radondotterhalten. På kvällarna, när aktiviteten var hög i huset, var radondotterhalten som lägst. Tidigt på morgonen när aktiviteten var låg var radondotterhalten som högst. Skillnaden mellan min- och maxvärde var en faktor 4. Mätningarna utfördes under november månad.

Uppgiftslämnare för Tyréns är Veikko Wallin.

Bjerkings Ingenjörbyrå har bedrivit forskning om åtgärder av hus med radon från mark och byggnadsmaterial. Denna forskning pågår kontinuerligt.

En åtgärd som Bjerkings är tveksamma till är täta skikt på källargolv och källarytterväggar. Ur radonsynpunkt kan det kanske fungera men man bör vara observant på att det kan ge fuktskador. Bjerkings menar att åtgärder mot radon inte får ge andra problem.

Valet mellan över- eller undertryck under bottenplattan spelar i regel inte någon roll anser Bjerkings. Dock anser man att övertryck inte är att föredra i kedjehus, radhus eller parhus om dessa är byggda på mark som har stor luftgenomsläpplighet t ex grusåsar. Det finns då en viss risk att något grannhus får radonproblem istället genom att tryckbilden även ändras under detta hus.

Bjerkings har gjort experiment med åtgärder i torpargrunder där inläckande markradon orsakat höga radonhalter. En ventilationskanal installerades från torpargrunden upp till taket. På så sätt ökades ventilationen i torpargrunden.

Med självdragsventilation genom kanalen sänktes radonhalten till ungefär hälften i bostaden uppger Bjerkings. När en fläkt monterades på kanalen, som sög luft från torpargrunden, reducerades radonhalten till ca 5 % av det ursprungliga i bostaden.

Bjerkings hyser oro för att med fläktar skapa övertryck med uteluft i kryppgrunder. Alla kryppgrunder lever farligt ur fuktsynpunkt under den varma årstiden då relativa fuktigheten oftast är över 70 % i kryppgrunden. I början på den varma årstiden då uteluften är varm och har stort fuktinnehåll är risken som störst. I kryppgrunden är det då fortfarande kallt och det kan bli kondensutfällningar på kalla ytor.

Senare på sommaren kan det vara en fördel med stora luftflöden i kryppgrunden anser Bjerkings. Då blir det ungefär samma temperaturbild i kryppgrunden och ute vilket ger lägre relativ fuktighet är det normalt skulle bli i kryppgrunden. Under den kalla årstiden kan stora luftflöden i kryppgrunden ge tjälskador eftersom temperaturen blir ungefär samma ute och i kryppgrunden.

Lösa tätskikt på bottenbjälklag för att hindra markradon att komma in i bostaden är ingen lösning anser Bjerkings. Det blir aldrig riktigt tätt utmed väggar

och genomföringar vilket gör att radon kan transporteras till bostaden. Radontransporten kan förstärkas när folk går på golvet genom den pumpeffekt som då kan uppstå. Görs denna åtgärd skall eventuell in-trängande markradon i golvet ventileras bort anser Bjerking.

Uppgiftslämnare för Bjerking är Bertil Clavensjö.

## 8.1 Delrapporter

Delresultat från AIB's utvecklingsarbete har tidigare presenterats såväl inom Sverige som vid internationella konferenser.

Arbetets uppläggning och resultat från ett föregående projekt /Clavensjö 82/ presenterades vid IEA konferensen New Energy Conservation Technologies and Their Commercialisation i Berlin 6-10 april 1981 /Ericson 81a/.

Preliminära resultat med åtgärder mot inflöde av markradon genom tätning av uppenbara otätheter mot marken och undertrycksventilation av kapillärbrytande skikt under bottenplattan presenterades vid seminariet "Indoor Exposure to Natural Radfiation and associated Rist Assessment" på Capri 3-5 oktober 1983 /Ericson 83/.

Vid konferensen Indoor Air i Stockholm 20-24 augusti 1984 presenterades tre bidrag beträffande:

- undersökning av hur de inköpta mätinstrumenten påverkades av luftfuktigheten /Schmied 84/.
- kostnad-nyttarelationen vid förändring av luftomsättningen i bostäder med och utan värmeåtervinning /Ericson 84/
- åtgärder i radonhus och förebyggande åtgärder vid nybyggnad /Ericson 84a/.

Vid seminariet "Exposure to Enhanced Natural Radiation and its Regulatory Implications" som anordnades bla av Commission of the European Communities i Maastricht, Nederländerna, 25-27 mars 1985, presenterades fyra bidrag rörande

- teoretisk analys av hur skorstenseffekten i en villa på en grusås kan samverka med motsvarande effekter inne i grusåsen och ge del av förklaringen till hur inflödet av markradon varierar i tiden,
- resultat av jämförelse av tillförlitligheten hos olika mätmetoder,
- resultat av installerade ventilationsanläggningar i småhus och
- översikt över praktiska åtgärder mot inflöde av radon med analys av kostnader relaterade till minskningen i stråldos.

Bidragen publicerades i "The Science of the Total Environment", Vol 45, oktober 1985 med titlarna

-Schmied, H; Combined Stack Effect in Houses and Eskers explaining Transients in Radon Source, p 195-201,

- Ericson, S-O och Schmied, H; The first Long time Comparison of Techniques for passive integrated measurement of radon and radon daughter concentration performed in an occupied dwelling, p 405-415,
- Ericson, S-O och Schmied, H; Installation of Supply/-exhaust ventilation as a remedial action against radon from soil and/or Building materials, p 499-505 och
- Ericson, S-O, Schmied, H. och Uzzan, G; State of the art of practical countermeasures and techniques and cost benefit considerations, p 477-484.

Vid ett seminarium anordnat av American Chemical Society i New York 13-18 april 1986 presenterades resultat beträffande förebyggande åtgärder vid nybyggnad "Modified design in New construction Prevents Infiltration of Soil Gas That Carries radon, p 526-535 i "Radon and Its decay products, Occurrence, Properties and health Effects, ACS Symposium series 331 ISBN 0-8412-1015-2.

Baserat på resultatet presenterades relationen mellan kostnader och nytta i form av minskad exponering för olika typer av åtgärder vid IVA's seminarium om radon i bostäder den 4 december 1985. Bidraget publicerades under titeln "Byggnadstekniska åtgärder - kostnader och nytta för fastighetsägare", p 93-101 i IVA rapport nr 301. Materialet presenterades även vid Nordiska Sällskapet för Strålskydd temamöte "Cost-benefitfrågor inom Nordiskt strålskydd" i Helsingfors 13-14 februari 1986.

## 8.2 Referenser

- |              |   |
|--------------|---|
| Auxier 73    | Auxier, J.A. Contribution of Natural Terrestrial Sources to the Total Radiation Dose in Man, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 1973.                      |
| Radon 83     | Betänkande av Radonutredningen, SOU 1983:6  |
| Bure'n 82    | Burén, A., Mjönes L. och Wennberg P. Kartläggning av radondotterhalten inomhus i Sverige, preliminär slutrapport Statens Strålskyddsinstitut a82-25, Stockholm 1982.      |
| CEC 83       | Commission of the European Communities Report EUR 8629EN, Results of a Quality Assurance Exercise for Radon and Radon Decay Product Measurements; eds Miles J.C.H. et al. |
| Clavensjö 82 | Clavensjö B m fl Radon i bostäder - Byggnadstekniska åtgärder för att minska radonhalten i inomhusluften. Statens råd för Byggnadsforskning R28:1982, Stockholm 1982      |

- Clavensjö 84 Clavensjö, B., Radon i bostäder - Byggnadstekniska åtgärder vid ny och ombyggnad, Statens Råd för Byggnadsforskning R90:1984, Stockholm 1984.
- Ericson 81 Ericson, S-O., Radon i Bostäder. Litteraturstudie och förslag till forskningsinsatser. Statens Råd för Byggnadsforskning R128:1981, Stockholm 1981.
- Ericson 81a Ericson, S-O., Radon Control Programme in Sweden, p 477-489 i New Energy Conservation Technologies and their Commercialisation, Proceedings international conference, Berlin 6-10 April 1981, ISBN 3-540-11124-7.
- Ericson 83 Ericson, S-O, Schmied, H. och Clavensjö, B. Modified Technology in New Construction and cost effective Remedial Action in existing structures to prevent infiltration of soil gas carrying radon; Radiation Protection Dosimetry Vol 7, No 1-4, p 223-226
- Ericson 84 Ericson, S-O, Schmied H och Sivborg P. Jämförande mätning med olika typer av integrerande radon/radondottermätare. Statens Råd för Byggnadsforskning R159:1984, Stockholm 1984.
- Ericson 84 Ericson, S-O; Cost-benefit analysis of decreased ventilation rates and radon exhalation from building materials, i Indoor Air, vol 5, p 271-276, ISBN 91-540-4197-X
- Ericson 84a Ericson, S-O och Schmied, H; Modified Technology in New Construction and Cost Effective Remedial Action in Existing Structures to prevent infiltration of soil gas carrying radon, Indoor Air vol 5, p 153-158, ISBN 91-540-4197-X.
- Ericson 84a Ericson, S-O och Schmied, H, Integrerande radon och radondottermätare i bostadsmiljö, en jämförande mätning februari - april 1984, Statens Strålskyddsinstitut a84-26, Stockholm 1984.
- Gabrysh 55 Gabrysh A.F. och Davies F.J. Radon release from concrete in Radiation heating. Nucleonics 13, No 1, 50, 1955.
- Hildingson79 Hildingson O, Samuelsson C och Hedwall R, Mätmetod för bestämning av radonavgång från byggnadskonstruktioner. Delrapport Statens Råd för Byggnadsforskning projekt 791499-3, 1979.



- Hildingson81 Hildingson, O. Radon i 5600 bostäder, Statens Provvningsanstalt 1981:27, Borås 1981.
- Hildingson81 Hildingson O. och Nilsson I., Radon i bostäder, Boråsprojektet, Statens Provvningsanstalt 1981:29, Borås 1981.
- Hildingson84 Hildingson, O. et al "Locating and Limiting Radon in Dwellings" i Radiation Protection Dosimetry, Vol 7, No 1-4, p 403-406.
- Jonassen 75 Jonassen, N., On the Effect of Atmospheric Pressure Variations on the Radon-222 Concentration in unventilated Rooms, Health Physics Vol 29, (1975), July pp 216-220.
- Jonassen 78 Jonassen, N. och McLaughlin, J.P. Exhalation of radon-222 from building materials and walls, the effect of pressure drops on radon exhalation from walls. Presenterat i Houston Texas vid Natural Radiation Environment III, April 23-28 1978.
- Jonassen 85 Jonassen, N, inlägg vid IVA-symposium om radon, 4 december 1985, bilaga till IVA-rapport 301 "Radon i bostäder, vad får åtgärder kosta?"
- Jonassen 87 Jonassen, N; The effect of filtration and exposure to electric fields on airborne Radon progeny i "Radon and Its decay products, Occurrence, properties and health effects, American Chemical Society Symposium Series 331, eds Hopke, P.K. ISBN 0-8412-1015-2
- Jonassen 87 Jonassen, N. och Jensen, B; Radon Daughter Levels in indoor air, effects of filtration and circulation. Progress report No XII, May 1987 presenterat vid 2nd Int Specialty Conference on Indoor Radon, APCA, April 6-10, 1987.
- Levin 82 Levin, P; Byggnadstekniska möjligheter att begränsa radonförekomst i nybyggnation; Statens Råd för Byggnadsforskning Dnr 770752-6.
- Lundin 82 Lundin, L; Statens Provvningsanstalt Rapport 8111,238 1982-05-26, Mätning av radonhalt i luften i ett bostadshus som byggts på varmgrund.
- Nevander 81 Nevander, L-E. och Elmarsson, B. Fukthandbok. Teori, dimensionering, konstruktion, AB Svensk Byggtjänst 1981

- Nilsson 82 Nilsson, I. och Hildingsson, O. Radonhus - exempel på åtgärder, Statens provningsanstalt 1982:37, Borås 1982.
- Mustonen 80 Mustonen, R. Measurements of the radon exhalation rates from building materials, Nordic Society for Radiation Protection, 6-9 jan 1980.
- Reinius 55 Reinius, Hydraulik del 1, KTH Vattenbyggnad, Stockholm 1955.
- Samuelsson80 Samuelsson, C. och Samuelsson, I. Radonkoncentrationer i byggnader, Statens Provningsanstalt 1980:26, Borås 1980.
- Samuelsson83 Samuelsson, C; Filtrering av radonhaltig luft; Lunds Universitet augusti 1983, dokument LUN FD6/(NFRA-3089).
- SGI 84 Lindmark, A. och Rosén, B., Radon i jord, Statens Geotekniska Institut rapport No 24, Linköping 1984.
- Schmied 84 Schmied, H., The Sensitivity to Humidity of Radon Monitoring Instruments. Indoor Air, vol 2, Swedish Council for Building Research, Stockholm 1984.
- Schmied 85 Schmied, H; Combined Stack Effect in Houses and Eskers Explaining transients in Radon source, The Science of the Total Environment, 45(1985)pl95-201.
- Strong 81 Strong, K.P. och Levins, D.M., Effect of Moisture Content on Radon Emanation from Ore and Tailings, Health Physics 42, 33, 1981.
- Swe 78 Swedjemark, Gun Astri, Radon in Dwellings in Sweden, p 1237-1259 i Natural Radiation Environment III, ISBN 0-87079-119-2.
- Swe 85 Swedjemark, Gun Astri, Radon and its decay products in housing, doktorsavhandling Stockholm 1985 ISBN 91-7146-634-7
- Tanner 64 Tanner, A.E., Radon Migration in the Ground, Natural Radiation Environment 1964.
- Tanner 78 Tanner, A.E., Radon Migration in the Ground, Natural Radiation Environment III, 1978.
- UNSCEAR 82 UNSCEAR, Ionising Radiation Sources and Biological Effects, FN 1982 publikation nr E.82.IX.8.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831533-5,  
840790-4, 840854-4 och 841221-2 från Statens råd för  
byggnadsforskning till AIB Anläggningsteknik AB, Solna,  
och Statens Provningsanstalt, Borås.**

**R88: 1988**

**ISBN 91-540-4943-1**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6708088**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 60 kr exkl moms**